

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de la Energía

AVANZANDO HACIA UNA SMART CITY



Memoria y Anexos

Autor: Clementina Gómez
Director: Bàrbara Sureda
Convocatoria: Junio 2018

Resum

Aquest document pretén presentar una solució per que una ciutat pugui començar a donar les passes necessàries per convertir-se en una Smart City.

A la primera part del projecte es defineix el concepte de Smart City com un canvi necessari on les energies renovables, les noves tecnologies (incloent les TIC) i l'economia circular juguen un paper fonamental. S'estableixen i es defineixen també els àmbits o agents involucrats en una Smart City: Govern, Mobilitat, Sostenibilitat, Població i Economia.

A la segona part es dimensiona una instal·lació solar fotovoltaica i la microxarxa (o microgrid) corresponent per cobrir el consum de l'enllumenat públic de Sant Cugat del Vallès amb l'objectiu de que sigui un projecte per que la ciutat avanci cap a ser una Smart City.

Es dimensiona primer una instal·lació convencional, després es calcula l'impacte que tindria l'agregació de components tecnològics a l'enllumenat públic (que resulta en una reducció significativa del nombre de panells a emprar i una reducció lleu en el pressupost) i finalment es proposa un sistema d'emmagatzematge d'energia alternatiu per instal·lacions més petites que la estudiada.

Una vegada optimitzada la instal·lació inicial, es proposen altres idees innovadores per qualsevol ciutat que vulgui convertir-se en una Smart City.

Posteriorment es fa un anàlisi de l'impacte ambiental d'aquests projectes.

Finalment es calculen els pressupostos de tots els projectes així com el VAN.

A les conclusions es proposen canvis que s'haurien d'implementar per incentivar la creació de més Smart Cities.

Resumen

Este documento pretende presentar una solución para que una ciudad pueda empezar a dar los pasos necesarios para convertirse en una Smart City.

En la primera parte del proyecto se define el concepto de Smart City como un cambio necesario en las energías renovables, las nuevas tecnologías (incluyendo las TIC) y la economía circular juegan un papel fundamental. Se establecen y se definen también los ámbitos o agentes involucrados en una Smart City: Gobierno, Movilidad, Sostenibilidad, Población y Economía.

En la segunda parte se dimensiona una instalación solar fotovoltaica y la microred (o Microgrid) correspondiente para cubrir el consumo del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès con el objetivo de que sea un proyecto para que la ciudad avance hacia ser una Smart City.

Se dimensiona primero una instalación convencional, luego se calcula el impacto que tendría la agregación de componentes tecnológicos en el alumbrado público (que resulta en una reducción significativa del número de paneles a emplear y una reducción leve en el presupuesto) y finalmente se propone un sistema de almacenamiento de energía alternativo para instalaciones más pequeñas que la estudiada.

Una vez optimizada la instalación inicial, se proponen otras ideas innovadoras para cualquier ciudad que quiera convertirse en una Smart City.

Posteriormente se hace un análisis del impacto ambiental de estos proyectos.

Finalmente se calculan los presupuestos de todos los proyectos, así como el VAN.

En las conclusiones se proponen cambios que se deberían implementar para incentivar la creación de más Smart Cities.

Abstract

This document aims to present a solution so that a city can begin to take the necessary steps to become a Smart City.

In the first part of the project the concept of Smart City is defined as a necessary change in which renewable energies, new technologies (including ICT) and circular economy play a fundamental role. The areas or agents involved in a Smart City are also established and defined: Government, Mobility, Sustainability, Population and Economy.

In the second part a photovoltaic solar installation and the corresponding microgrid are dimensioned to cover the consumption of public lighting in Sant Cugat del Vallès with the aim of making it a project for the city to move towards being a Smart City.

A conventional installation is dimensioned first, then the impact that the aggregation of technological components in public lighting (which results in a significant reduction in the number of panels to be used and a slight reduction in the budget) would be calculated and finally a system is proposed. of alternative energy storage for smaller installations than the one studied.

Once the initial installation is optimized, other innovative ideas are proposed for any city that wants to become a Smart City.

Subsequently an analysis of the environmental impact of these projects is made.

Finally, the budgets of all the projects are calculated, as well as the NPV.

The conclusions propose changes that should be implemented to encourage the creation of more Smart Cities.

Agradecimientos

Aprovecharé este espacio para agradecer a mis padres y mi hermano Lucas el soporte fundamental que han sido para mí. A mi hermano Carlos la muestra de interés en mi proyecto y las ganas de impulsarme a mejorar.

Al Ayuntamiento de Sant Cugat le agradezco la ayuda prestada a la hora de proporcionarme los datos.

A Herminio Martinez la paciencia que ha tenido conmigo.

Finalmente le agradezco a Bàrbara Sureda la tutoría del trabajo.



Índice de la memoria

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE LA MEMORIA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
1. PREFACIO	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Objetivos del trabajo.....	3
2.2. Alcance del trabajo	4
3. ¿QUÉ ES UNA SMART CITY?	5
3.1. Definición	5
3.2. Contextualización temporal.....	6
3.2.1. Aparición de la conciencia ecológica.....	6
3.2.2. Teoría de la triple sostenibilidad	7
3.3. Infraestructuras de una Smart City.....	11
3.3.1. Gobierno	11
3.3.2. Movilidad	13
3.3.3. Sostenibilidad	16
3.3.4. Población	18
3.3.5. Economía	18
3.4. España y las Smart Cities.....	20
3.4.1. Plan Nacional de Ciudades Inteligentes	20
3.4.2. RECI.....	20
4. CASO A ESTUDIAR: SANT CUGAT DEL VALLÉS	21
4.1. ¿Por qué Sant Cugat del Vallés?	22
4.2. Proyectos desarrollados en la ciudad.....	23
4.2.1. Google Glass	23

4.2.2.	Smart Street.....	23
4.2.3.	Library Living Lab	24
4.3.	Plan de actuación	25
5.	CASO PRÁCTICO: DIMENSIONAMIENTO DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE SANT CUGAT DEL VALLÉS	26
5.1.	Normativa aplicable	26
5.1.1.	Normativa referente a la generación de Energía.....	26
5.1.2.	Normativa referente al alumbrado	29
5.1.3.	Normativa referente a los paneles fotovoltaicos	29
5.1.4.	Normativa referente a los reguladores de carga	30
5.1.5.	Normativa referente al cableado	30
5.2.	El clima en Sant Cugat del Vallès	32
5.3.	Determinación de la Microred de estudio	34
5.3.1.	Definición de Microred.....	34
5.3.2.	Sistema de gestión de energía (EMS).....	34
5.3.3.	Microred de estudio	34
5.4.	Determinación de la tensión nominal de funcionamiento	36
5.5.	Consumo del alumbrado	37
5.6.	Evaluación de las pérdidas de la instalación	41
5.7.	Recurso Solar.....	43
5.7.1.	Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos	44
5.7.2.	Radiación solar total diaria recibida mes a mes para el ángulo de inclinación ...	46
5.8.	Selección de panel fotovoltaico.....	48
5.8.1.	Energía proporcionada por el panel fotovoltaico	48
5.9.	Cálculo del número total de módulos en paralelo y en serie	50
5.9.1.	Cálculo del número de módulos en paralelo	50
5.9.2.	Cálculo del número de módulos en serie.....	50
5.9.3.	Número total de paneles.....	50
5.10.	Dimensionamiento de los elementos de la instalación	51
5.10.1.	Sistema de almacenamiento	51
5.10.2.	Inversor (convertidor DC/AC).....	53
5.10.3.	Sistema de gestión de energía (EMS).....	54
5.10.4.	Equipo de monitorización	55
5.10.5.	Fusible y sensor de temperatura de las baterías	55
5.10.6.	Cableado	56
5.10.7.	Protecciones	64

5.10.8. Resumen de la instalación final.....	66
5.10.9. Emplazamiento de la instalación.....	67
6. VÍAS ALTERNATIVAS PARA AVANZAR HACIA UNA SMART CITY	71
6.1. Optimización del proyecto planteado	71
6.1.1. Automatización.....	72
6.1.2. Sustitución de la tecnología actual por tecnología LED	75
6.1.3. Sistema de almacenamiento	77
6.1.4. Estudio del impacto de la implementación de las medidas propuestas	79
6.2. Central micro hidroeléctrica Turbulent	82
6.3. Fermentalg y Suez sumidero de carbono	84
6.4. NuTonomy.....	85
7. IMPACTO AMBIENTAL	86
7.1. Alumbrado con la instalación inicial	87
7.2. Alumbrado optimizado	88
8. ANÁLISIS ECONÓMICO	90
8.1. Presupuesto	90
8.1.1. Instalación original.....	90
8.1.2. Instalación optimizada (sensores y LED)	92
8.1.3. Presupuesto de elaboración del documento	94
8.2. Retorno de la inversión	95
8.2.1. Ahorro.....	95
8.2.2. Costes operación y mantenimiento	95
8.2.3. VAN	96
9. CONCLUSIONES	98
9.1. El futuro de las Smart Cities	99
9.1.1. Marco legal	99
9.1.2. Precio de los paneles fotovoltaicos.....	99
9.1.3. Rendimiento de las baterías.....	100
9.1.4. Implementación de tecnologías.....	100
9.1.5. Inversión en el carril bici.....	100
9.2. Conclusiones a nivel personal.....	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXO A	113

A1.	Ficha de características del panel solar	113
A2.	Ficha técnica de la Batería Estacionaria BAE 48V 4420 Ah	114
A3.	Ficha técnica del Inversor Sunny Boy 5000-US.....	118
A4.	Ficha técnica del inversor bidireccional Sunny Island 6048-US	119
A5.	Ficha técnica de las protecciones.....	120
A6.	Ficha técnica del sensor VL53L1X.....	122
A7.	Ficha técnica lámpara LED	124
A8.	Ficha técnica de la bomba seleccionada	125

Índice de figuras

Figura 1. Representación de la triple sostenibilidad (Fuente: Emprendices: “la importancia del desarrollo sustentable” (8))	7
Figura 2. Representación de la plataforma Mejora tu Ciudad (Fuente: Mejoratuciudad.org)	12
Figura 3. Energía consumida en España en 2014 (Fuente: Instituto Nacional de Estadística)	13
Figura 4. Ejemplo de coche utilizado en la empresa Zity (Fuente: zitycar.es)	14
Figura 5. Ejemplo de aplicación utilizada para controlar el tráfico (Fuente: esmartcity.es)	15
Figura 6. Representación futurista de una Smart City con mucha biodiversidad (Fuente: archdaily.com)	17
Figura 7. Resumen gráfico del funcionamiento de una Smart City (Fuente: AFI)	19
Figura 8. Mapas de Sant Cugat (Fuentes: Google Mapas y Wikipedia)	21
Figura 9. Smart Street de Sant Cugat (Fuente: Tot Sant Cugat)	23
Figura 10. PARKHELP en Sant Cugat del Vallés (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)	24
Figura 11. Secciones normalizadas del cableado (Fuente: Eland cables)	31
Figura 12. Gráfico que muestra la velocidad del viento en Sant Cugat en 2017 (Fuente: propia)	32
Figura 13. Gráfico que muestra las horas de sol en Sant Cugat en 2017 (Fuente: propia)	33
Figura 14. Esquema preliminar de los elementos necesarios para Microred (Fuente: propia)	34
Figura 15. Mapa de radiación solar en Cataluña (Fuente: ARSC)	43
Figura 16. Tabla de coeficiente k para una latitud de 41° (Fuente: ISBT)	47
Figura 17. Esquema inicial de la Microred de la instalación (Fuente: propia)	51
Figura 18. Batería escogida para la instalación (Fuente: autosolar.es)	52
Figura 19. Esquema del funcionamiento del EMS (Fuente: Sma.com)	55
Figura 20. Fusible que se utilizará (Fuente: Siemens.com)	56
Figura 21. Sensor de temperatura que se utilizará (Fuente: rebacas.com)	56
Figura 22. Esquema del funcionamiento de la Microred final (Fuente: propia)	58
Figura 23. Equipo de protección nivel 1 (Fuente: Cahors)	65
Figura 24. Equipo de protección nivel 2 (Fuente: Cahors)	65
Figura 25. Equipos de protección CA (Fuente: Cahors)	65
Figura 26. Distancia entre los paneles (Fuente: fotovoltaica.com)	67
Figura 27. Instalación solar en un tejado (Fuente: framepool.com)	69
Figura 28. Instalación solar en el tejado de un aparcamiento (Fuente: energiareno.com)	70
Figura 29. Espacio para la instalación del sector con respecto a la ciudad (Fuente: Google Maps)	70
Figura 30. Ampliación de la figura anterior (Fuente: Google Maps)	70
Figura 31. Evolución de la energía solar fotovoltaica (Fuente: Público.es)	71
Figura 32. Sensor para el alumbrado (Fuente: st.com)	72
Figura 33. Rango de distancias del sensor (Fuente: st.com)	73
Figura 34. Gráfico que muestra la diferencia de consumo cuando se instalan los sensores (Fuente: propia)	74
Figura 35. Gráfico que muestra la diferencia de consumo total cuando se instalan los sensores (Fuente: propia)	75
Figura 36. Lámpara LED seleccionada (Fuente: efectoled.com)	76
Figura 37. Consumo del alumbrado actual y con tecnología LED (Fuente: propia)	77
Figura 38. Sistema de almacenamiento alternativo (Fuente: propia)	78

<i>Figura 39. Pantano de Can Borrell (Fuente: imuntanya.com)</i>	78
<i>Figura 40. Bomba de agua seleccionada (Fuente: leroymerlin.es)</i>	79
<i>Figura 41. Diferencia de consumos entre la instalación original y la instalación optimizada (Fuente: propia)</i>	81
<i>Figura 42. Tres tipos de instalación de la turbina (Fuente: Turbulent.be)</i>	82
<i>Figura 43. Esquema detallado del funcionamiento de la turbina (Fuente: Turbulent.be)</i>	83
<i>Figura 44. Sumidero de carbono (Fuente: Fermentalg.com)</i>	84
<i>Figura 45. Ciclo del sumidero de carbono (Fuente: Fermentalg.com)</i>	84
<i>Figura 46. Coche de la empresa NuTonomy (Fuente: nutonomy.com)</i>	85
<i>Figura 47. Distribuidoras eléctricas en España (Fuente: alcanzia.es)</i>	95
<i>Figura 48. Carril bici de Sant Cugat del Vallès (Fuente: santcugat.cat)</i>	101

Índice de tablas

Tabla 1. Datos de consumo para el mes con más luz solar (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)	38
Tabla 2. Datos de consumo para el mes con menos luz solar (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)	39
Tabla 3. Consumo total para cada mes (Fuente: propia)	42
Tabla 4. Datos de radiación solar (Fuente: PVGIS, Elaboración: propia)	44
Tabla 5. Datos de consumo medio diario para cada mes (Fuente: propia)	45
Tabla 6. Datos de consumo medio diario de cada mes dividido entre la radiación de cada mes (Fuente: propia)	45
Tabla 7. Inclinação óptima de los paneles (Fuente: propia)	46
Tabla 8. H para un plano horizontal para cada mes en Sant Cugat (Fuente: propia)	46
Tabla 9. E para cada mes (Fuente: propia)	47
Tabla 10. Tabla de comparación de paneles fotovoltaicos (Fuente: propia)	48
Tabla 11. HSP para cada mes (Fuente: propia)	49
Tabla 12. $E_{mód}$ para cada mes (Fuente: propia)	49
Tabla 13. Distribución de los sectores de la instalación (Fuente: propia)	57
Tabla 14. Distribución de los subsistemas de baterías (Fuente: propia)	57
Tabla 15. Tabla que muestra la U, I y L de cada tramo del cableado (Fuente: propia)	60
Tabla 16. Tabla que muestra la sección y la sección normalizada de cada tramo del cableado (Fuente: propia)	61
Tabla 17. Criterio de las Intensidades máximas admisibles (Fuente: propia)	61
Tabla 18. Distribución hipotética de las cargas y los sectores fotovoltaicos (Fuente: propia)	63
Tabla 19. Sección del cableado que llega a las cargas (Fuente: propia)	64
Tabla 20. Tabla-resumen de la Instalación Solar Fotovoltaica (Fuente: propia)	66
Tabla 21. Déficit/superávit de energía y factores del sistema de almacenamiento (Fuente: propia)	67
Tablas 22 y 23. Consumo del alumbrado de las aceras con sensores y sin sensores (Fuente: propia)	74
Tablas 24 y 25. Consumo del alumbrado de las aceras con sensores y sin sensores (Fuente: propia)	74
Tabla 26. Potencia consumida por el alumbrado actual y el alumbrado con tecnología LED (Fuente: Propia)	76
Tablas 27 y 28. Consumo del alumbrado actual y con tecnología LED (Fuente: propia)	77
Tablas 29 y 30. Consumo de la instalación original y optimizada (Fuente: propia)	80
Tabla 31. Número de paneles y de baterías de la instalación original y optimizada (Fuente: propia)	81
Tabla 32. Cantidad de CO ₂ emitido por las centrales (Fuente: nuclear.org y caib.es)	86
Tabla 33. Energía consumida por la instalación optimizada (Fuente: propia)	88
Tabla 34. Presupuesto instalación original (Fuente: propia)	92
Tabla 35. Presupuesto instalación optimizada con sensores y LEDs (Fuente: propia)	93
Tabla 36. Presupuesto elaboración del documento (Fuente: propia)	94
Tabla 37. VAN del proyecto (Fuente: propia)	97



1. Prefacio

Este trabajo se basa en la idea de que la humanidad se tiene que mover en la dirección adecuada. Cuando se me presentó la idea de hacer el trabajo sobre las Smart Cities yo no era muy consciente de lo que eso significaba. Sin embargo, después de profundizar en el tema, el concepto me pareció interesante y una manera de mejorar el mundo en la que el cambio es completamente visible en cuanto se hace la inversión adecuada.

Las Smart Cities fueron atrayendo cada vez más mi atención por el hecho de que no son un simple anteproyecto, sino que en algunas partes del mundo son una realidad. Así que ahí estaba yo, aprendiendo sobre ciudades en Dubai completamente autosostenibles y automatizadas como una niña que ve una película de ciencia ficción futurista, pero en este caso había mucha ciencia y ninguna ficción.

Entonces me planteé por qué no poner mi granito de arena para que esta visión optimista sea lo que el futuro nos depara y no los múltiples escenarios de decadencia que pueden ocurrir si la humanidad sigue contaminando al ritmo de hoy en día.

Por esta razón presento este trabajo de final de grado, con la esperanza de que sea de alguna utilidad o de que al menos remueva alguna conciencia. Hoy está en nuestras manos cambiar el futuro de la Tierra, mañana quizás no. Movámonos hacia un “Smart World”.

2. Introducción

El problema más grave que afronta la humanidad es la sostenibilidad del planeta. La superpoblación mundial está agotando sus recursos. Según las Naciones Unidas, del total de la población mundial el 54% habita en entornos urbanos. Las ciudades en las que desarrollamos nuestras vidas, en lo que se refiere a sostenibilidad, responden a un abanico de parámetros que van desde ciudades super contaminantes como Nueva Delhi hasta una ciudad completamente autosuficiente de Dubai a la que han llamado La Ciudad Sostenible.

En noviembre de 2017, Nueva Delhi superó diez veces el límite recomendado de contaminación en el aire. Los niveles de contaminación del aire llegaron a 495 micropartículas por metro cúbico cuando el límite está en 50 micropartículas por metro cúbico. (1) La infraestructura del transporte es también un problema en ciudades como Nueva Delhi. El tráfico no está bien controlado y hay muchísimos accidentes. El cableado eléctrico de la ciudad ocupa la superficie aérea como si de una tela de araña se tratase. Estos son algunos de la gran cantidad de problemas en esta ciudad. El problema reside en que existen muchísimas ciudades en el mundo en las mismas condiciones que Nueva Delhi. Se ha decidido escoger esta ciudad para ilustrar la idea del concepto completamente contrario al de una Smart City, pero esta situación es un patrón que se repite a lo largo y ancho del mundo.

En el otro lado de la balanza está la Ciudad Sostenible de Dubai. La Ciudad Sostenible tiene paneles solares que generan la energía que se necesita, se reciclan todos los deshechos, existe tecnología que controla el tráfico (en la ciudad solamente circulan coches eléctricos), se reutiliza el agua y todas las casas están construidas de manera que se aproveche el máximo de las fuentes de energía renovables entre otras cosas.

La diferencia principal entre estos dos casos es que la Smart City ha sido diseñada con objetivos claros en mente y las ciudades convencionales crecen de manera descontrolada y caótica.

2.1. Objetivos del trabajo

Sabiendo que una Smart City es una realidad, el propósito de este trabajo es estudiar la viabilidad de implantar alguna medida para que una ciudad convencional (Sant Cugat del Vallès) avance en el camino de ser una Smart City.

2.2. Alcance del trabajo

Este trabajo se divide en cuatro grandes bloques.

En el primer bloque se define con detalle lo que es una Smart City

En el segundo bloque se dimensiona una instalación solar fotovoltaica y la microred correspondiente para cubrir el consumo del alumbrado eléctrico de Sant Cugat del Vallès.

En el tercer bloque se proponen medidas para optimizar la instalación dimensionada en el bloque anterior y se evalúa el efecto de estas medidas. Posteriormente se proponen ideas interesantes para cualquier ciudad que pretenda convertirse en una Smart City.

En el cuarto y último bloque se presupuestan los diferentes proyectos propuestos y se calcula el tiempo de retorno.

3. ¿Qué es una Smart City?

3.1. Definición

El concepto de Smart City es muy variable, cambia en función de la época y el contexto en el que se encuentre la humanidad y de la disponibilidad de recursos de quien la gestiona, pero en esencia una Smart City es una ciudad en la que se intentan optimizar los recursos para hacer de la ciudad un lugar eficiente desde un punto de vista tecnológico, ecológico y social. (2)

Los ámbitos afectados por el desarrollo de una Smart City incluyen el gobierno, la movilidad, la sostenibilidad, la población y la economía (3). La forma en que el camino hacia una Smart City afecta a estos ámbitos se explicará en el apartado “infraestructuras de una Smart City”.

Una ciudad genera un número muy elevado de datos. La idea es recoger toda la información en una o varias plataformas con el objetivo de controlar el funcionamiento de la ciudad en tiempo real y hacer una gestión eficiente gracias a la interacción entre los gestores, las infraestructuras de la ciudad y los ciudadanos a través de la tecnología.

Hoy en día muchas ciudades quieren convertirse en “Smart”. Muchas invierten en tecnología para conseguirlo sin haber pensado previamente en todo lo que implica ser una Smart City. Hay ciudades que han invertido en una o varias plataformas y se encuentran que tienen sistemas aislados, entre los cuales no pueden compartir información e integrarla en una misma idea. Por esta razón es muy importante que, a la hora de idear una ciudad inteligente todos los organismos (tecnológicos, ambientales...), se trabaje en conjunto.

3.2. Contextualización temporal

3.2.1. Aparición de la conciencia ecológica

Tener conciencia ecológica es entender que el ser humano es dependiente de la naturaleza y responsable de su desarrollo.

El primer documento oficial fruto de la conciencia ecológica que se desarrolla en el último tercio del siglo XX es el Informe Brundtland de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de 1987 (4). Este informe trataba de cohesionar las ideas de desarrollo sostenible con el medio ambiente por el bien del porvenir de la Tierra.

Durante mucho tiempo el término desarrollo expresaba una forma de avanzar hacia el futuro sin tener en cuenta el medio afectado por este avance. Con el tiempo, se ha comprendido que es necesario tener en cuenta la ecología del medio ambiente cuando se pretende avanzar en cualquier dirección. Fue en este momento cuando surgió la necesidad de concebir una estrategia de desarrollo respetuosa con la naturaleza y con su conservación.

Hoy en día existen varias versiones de lo que implica el término desarrollo sostenible. Según varios autores el desarrollo sostenible consiste en:

- “- sostener los recursos naturales (Carpenter, 1991);
- sostener los niveles de consumo (Redclift, 1987);
- lograr la sostenibilidad de todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales, recursos agotables (Bojo et al., 1990);
- perseguir la integridad de los procesos, ciclos y ritmos de la naturaleza (Shiva, 1989);
- sostener los niveles de producción (Naredo, 1990).”(5)

En conclusión, a partir de la aparición de la conciencia ecológica se establece la idea de que es muy necesario el mantenimiento del medioambiente para el progreso y es ahí cuando se define el objetivo de la triple sostenibilidad.

3.2.2. Teoría de la triple sostenibilidad

Una vez asentada la conciencia ecológica y del desarrollo sostenible aparece la idea de la triple sostenibilidad. La triple sostenibilidad, también llamada la teoría de las tres dimensiones del desarrollo sostenible, es la teoría que mantiene que para avanzar hacia un futuro mejor se deben tener en cuenta tres tipos de sostenibilidad: la sostenibilidad medioambiental, la social y la económica. (6)

Estos tres aspectos de la sostenibilidad están diferenciados, pero son claramente dependientes los unos de los otros.

Nicole Fontaine, presidenta en el Consejo Europeo de Gotemburgo de 15 y 16 de junio 2001 dejó clara “La voluntad de la Unión Europea a favor de un desarrollo sostenible, cuyas tres dimensiones, la económica, la social y la medioambiental, son indisociables.” En este Consejo, se estableció también una estrategia para el desarrollo sostenible. Se trataron temas como las políticas necesarias, soluciones a nivel mundial, la lucha contra el cambio climático y el transporte sostenible entre otros. (7)

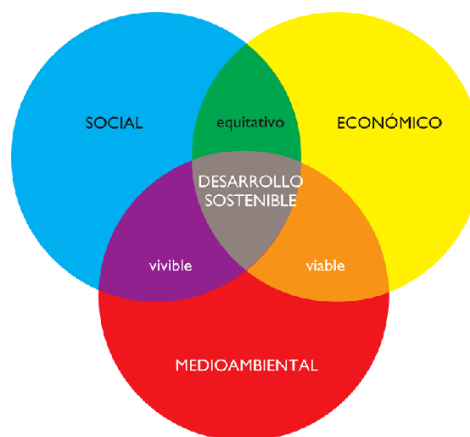


Figura 1. Representación de la triple sostenibilidad (Fuente: Emprendices: “la importancia del desarrollo sustentable” (8))

Esta idea nace cuando, al pensar en la sostenibilidad, muchas de las definiciones coincidieron en que, para llegar a ser sostenible, la sociedad debe poner en marcha las acciones necesarias para que la expansión económica respete el medioambiente y que, además, el proceso de crecimiento económico sea socialmente ecuánime.

A pesar de que la idea de la triple sostenibilidad es reconocida mundialmente, es muy necesario un cambio a la hora de su aplicación. Muchos sectores siguen dando mayor importancia al desarrollo económico que a los otros dos aspectos cuando deberían ser tratados de manera equitativa.

3.2.2.1. Aspecto social

En cuanto al ámbito social de la triple sostenibilidad el objetivo principal es el del fomento del bienestar de las personas afectadas por el desarrollo de una sociedad.

Un claro ejemplo de empresas que no cumplen con el desarrollo social sostenible son las empresas (generalmente de oriente) que contratan a personas para trabajar 15 horas al día por un sueldo ínfimo. Los gobiernos de esos países no condenan estas acciones, sino que las fomentan ya que les proporcionan unos muy buenos beneficios económicos. Es por esto por lo que se ha dicho previamente que las empresas deberían centrarse más en la evolución de la triple sostenibilidad justa y equitativa.

El desarrollo social sostenible busca, en definitiva, un negocio justo y beneficioso hacia el trabajo, la comunidad y la región en la que se lleva a cabo dicho negocio. (9)

El desarrollo social sostenible, en definitiva, no debe explotar o poner en peligro a ninguna persona. Para conseguir esto se debe:

- No invertir en, ni permitir el trabajo infantil.
- Pagar salarios justos.
- Crear un ambiente de trabajo seguro.
- Establecer horarios de trabajo tolerables.
- Retornar a la comunidad parte de los beneficios contribuyendo en el crecimiento de ésta, invirtiendo en salud y educación.

Todas estas pautas están establecidas en los documentos de la Iniciativa de Reporte Global que es una organización internacional independiente que ayuda a las empresas, las ONGs y otras organizaciones a entender y comunicar sus impactos en el medio ambiente. (10)

El desarrollo sostenible social debe tener entre sus objetivos paliar el hambre y la pobreza en la sociedad de hoy en día. Para ello el desarrollo sostenible social debe buscar un futuro en el que confluyan países más desarrollados y menos desarrollados con el objetivo de reducir la brecha de bienestar que los diferencia hoy.

3.2.2.2. Aspecto económico

El objetivo del desarrollo sostenible, económicamente hablando, es la maximización de los resultados económicos a largo plazo en un contexto en el que los beneficios no sean nocivos para el medio.

Este tipo de desarrollo sostenible busca administrar el valor económico creado después de deducir el coste de todos los factores de entrada. Las ventajas que recibe la sociedad en el ámbito geográfico en

el que un operador económico ejerce su actividad deben computarse como beneficio de dicho operador económico.

Un ejemplo de crecimiento económico no sostenible es el de la violación de las propiedades intelectuales e industriales. Las empresas que copian productos patentados por otras normalmente no tienen reparos en la contaminación que conlleva la fabricación de sus productos ya que se saltan las regulaciones impuestas.

La crisis económica de 1973-75, causada en parte por la crisis del petróleo y la caída del sistema de administración monetaria Bretton Woods, puso en duda las bases del crecimiento económico que se habían establecido hasta el momento. Este modelo se basaba en que la naturaleza ofrecería materias primas infinitas lo cual, como sabemos hoy en día, no es realista. Es en este momento en el que volvemos a referirnos a Redclift que en 1996 afirmó que los parámetros que afectan al deterioro de nuestro planeta (efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono...) no son efecto de la escasez sino de la imprudencia y la mala gestión de los sistemas de producción. A partir de este momento se propone que para calcular el PIB de la sociedad se tenga en cuenta el coste para el medio ambiente de las actividades económicas de todos los agentes. (11)

3.2.2.3. Aspecto medioambiental

Este aspecto del desarrollo sostenible se centra en la restauración de los daños causados en el pasado en el medio ambiente. Una población que apoya y aplica el desarrollo sostenible busca no dañar el medio ambiente y minimizar el impacto medioambiental futuro.

En este contexto, las empresas, organizaciones, ayuntamientos o personas individuales intentan reducir su huella ecológica gestionando su consumo de energía y fuentes no renovables y reduciendo residuos de fabricación además de detoxificar los deshechos antes de deshacerse de ellos.

La sostenibilidad medioambiental supone una economía circular en la que los ciclos se cierran. Es decir, una economía en la que los productos se puedan reparar fácilmente o que se reciclen para formar otros, donde no se cree la necesidad de comprar (y por tanto fabricar) productos nuevos cada cierto tiempo.

En la actualidad, el coste de la eliminación de productos no degradables o tóxicos es asumido financieramente por los gobiernos y ambientalmente por los residentes cercanos al sitio de disposición. En el pensamiento de la triple sostenibilidad, el que produce y comercializa un producto que creará un problema de residuos no debe resarcir a la sociedad del daño causado. Será más equitativo que quien fabrique y venda un producto problemático asuma parte del coste de su disposición final.

La Política de Producto Integrada se encarga de establecer las bases para la reducción de los efectos ambientales de los productos durante su ciclo de vida. Esta política se centra en tres ideas:

- Aplicación del principio “quien contamina paga”
- Información al consumidor sobre la producción en el etiquetado del producto
- Diseño ecológico del producto

Para seguir estas premisas las herramientas adecuadas son los Inventarios del Ciclo de Vida y el Análisis del Ciclo de Vida. (12) El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida de un producto, desde la extracción de la materia prima hasta el procesamiento, la fabricación, la distribución, el uso, la reparación y el mantenimiento de los materiales, y finalmente su eliminación o reciclaje.(13)

3.2.2.4. Aplicación a las Smart Cities

En el apartado 3.2 de este proyecto se han explicado una serie de ideas que afectan a los operadores económicos y a la evolución ecológica y sostenible, pero... ¿Qué relación tienen estas ideas con las Smart Cities?

En el caso de las ciudades inteligentes se cogen esas ideas y se aplican a gran escala. Una Smart City se tiene que comportar como una gran empresa con todas sus funciones dispuestas a colaborar entre sí. Los ayuntamientos deben proporcionar datos a las empresas, organizaciones y ciudadanos de las ciudades y viceversa para conseguir ciudades inteligentes, digitales y sostenibles.

Partiendo de la base de que las ciudades deben comportarse como empresas gigantes, la idea de la triple sostenibilidad se debe aplicar de la misma manera, a gran escala, a las ciudades. Las Smart Cities deben aplicar la idea de la triple sostenibilidad para progresar. Se debe buscar el desarrollo sostenible tanto en el aspecto medioambiental como en el económico y el social.

3.3. Infraestructuras de una Smart City

Después de presentar las ideas básicas de la sostenibilidad, se pasa a describir los diferentes ámbitos que constituyen el concepto de Smart City mencionados con anterioridad.

3.3.1. Gobierno

Según el Libro Blanco de las Smart Cities, que es el libro en el que se establecen las bases de una Smart City, la primera premisa por la que se debe regir el gobierno de una Smart City es la transparencia. La administración de una Smart City debe ser abierta, clara y accesible a la ciudadanía.

3.3.1.1. TICs

Con este objetivo, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (de ahora en adelante llamadas TICs) juegan un papel importantísimo en los cimientos de la Smart City. Las funciones principales de las administraciones con respecto a las TICs incluyen (14):

- Facilitar la relación entre la ciudadanía y la administración
- Modernización del sistema
- Digitalización de los datos y la información
- Establecer servicios de atención telefónica o presencial
- Instalar puntos municipales de conexión WiFi
- Colocar sensores por toda la ciudad para recopilar y tratar la información. Esta información puede ser referente a los aparcamientos, al alumbrado público, al tráfico, al control ambiental o a los residuos.

El gobierno debe fomentar la utilización de las TICs para así impulsar la actualización de la sociedad.

3.3.1.2. Servicios

Los servicios y prestaciones ofrecidos por el gobierno también juegan un papel fundamental en cuanto a la evolución hacia la Smart City.

Todos los servicios deben plantearse con el fin de avanzar. Por ejemplo, los servicios como la recogida (y posterior tratamiento) de residuos se actualizarán si en los puntos de recogida se dispone de sensores que informan de diferentes factores relacionados con los mismos. (15)

La atención a la ciudadanía en una Smart City es mucho más rápida y personal gracias a las nuevas tecnologías.

Gracias a la reducción del tráfico convencional, en una Smart City hay muchos más espacios públicos para practicar deporte al aire libre.

3.3.1.3. Incentivos

Uno de los factores más importantes para la transición hacia una Smart City es la incentivación por parte del gobierno hacia los agentes de la ciudad con respecto a las tecnologías y el medioambiente.

Los incentivos pueden ser de diferente carácter:

- Económico
- Fiscal
- Basados en el concepto “quien contamina paga”

3.3.1.4. Proyectos

La Startup Mejora tu ciudad (MTC) ofrece una plataforma para la comunicación entre el ayuntamiento y la población y se basa en los tres pilares de gobierno abierto: participación, colaboración y transparencia. Esta plataforma básicamente proporciona vías de comunicación con el ciudadano. Gracias a la plataforma, el ayuntamiento dispone de un panel donde gestiona las solicitudes de los ciudadanos, consultar las estadísticas, conocer costes y controlar las actividades de las empresas de la ciudad entre otros.



Figura 2. Representación de la plataforma Mejora tu Ciudad (Fuente: Mejoratuciudad.org)

Los ciudadanos dan información al Ayuntamiento mediante una web, una app, un email o incluso la página de Facebook y los técnicos de la administración crean y reciben tareas y notifican de la resolución a la población (16).

3.3.2. Movilidad

El transporte juega, sin duda, uno de los papeles más importantes en cuanto a la ecología se refiere. Hoy en día, el transporte es el área que más energía consume en nuestro país (40,4 % del total). Sabiendo esto, se debe concretar que solo los vehículos privados (turismos) representan un 15 % de la energía total consumida. (17)

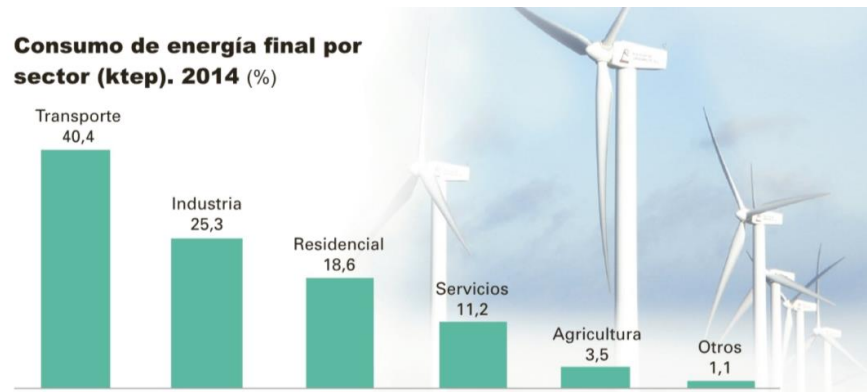


Figura 3. Energía consumida en España en 2014 (Fuente: Instituto Nacional de Estadística)

Es en este punto en el que entran a actuar los Planes de Movilidad Urbana Sostenible que son un conjunto de actuaciones que tienen como meta la creación de formas de desplazamiento más sostenibles a lo largo y ancho de la ciudad.

Los objetivos de estos planes incluyen:

- Reducción de tráfico
- Reducción de consumo de energías no renovables
- Mejora del transporte público
- Reducción de la contaminación lumínica y acústica proveniente de los vehículos
- Mejora de la calidad del aire
- Fomento de los vehículos eléctricos
- Impulso de iniciativas como el car sharing

Respecto a este último punto, en la ciudad de Madrid ya se dispone de tres programas de car sharing. Car2go (18), Emov (19) y Zity (20) te permiten coger el coche de su empresa que más cerca esté de tu localización y utilizarlo el tiempo que quieras. No sólo eso, sino que estas tres empresas solamente presentan coches totalmente eléctricos. Lo que diferencia a estas tres marcas es tanto el precio como el modelo del coche (21). En este aspecto Zity es el más rentable ya que darse de alta en este servicio cuesta 0 euros (comparado con los 9 euros que cuesta darse de alta en las otras dos) y su tarifa diaria

es de 55 euros (la de Car2go es de 59 y la de Emov de 69). En cuanto al modelo del coche, Zity dispone del Renault ZOE (5 plazas), Emov del Citroen C-Zero (4 plazas) y Car2go trabaja con Smart (2 plazas).

Visto esto se concluye que la mejor opción en la ciudad de Madrid es la más recientemente implantada, Zity.



Figura 4. Ejemplo de coche utilizado en la empresa Zity (Fuente: zitycar.es)

En el aspecto más tecnológico, los planes de Movilidad Urbana Sostenible pretenden contribuir a:

- Análisis e informatización de los flujos del tráfico
- Detección automática de infracciones
- Desarrollo de programas y modelos matemáticos para ayudar a la comprensión de los problemas
- Elaboración de servicios online que informen a la población del estado de las carreteras en tiempo real.

3.3.2.1. Living Labs Global

Living Labs Global es una asociación sin ánimo de lucro fundada en 2003 y con sede en Copenhague que tiene por objetivo promover la innovación en la movilidad de las ciudades. En este caso, Living Labs Global apuesta por que los servicios públicos y privados se adapten a las necesidades de los ciudadanos ofrecidos cuando se necesiten y en cualquier lugar.

Para esta asociación, el mercado global de la movilidad en las ciudades queda eclipsado por la creencia de que las otras áreas de la Smart City son más importantes y es por eso por lo que no se invierte tanto en tecnologías e ideas de negocios relativos a la movilidad. La administración de esta asociación cree firmemente que se invierte siempre en las mismas costosas tecnologías y se plantea la pregunta de por qué éstas no han cambiado aún nuestra vida cotidiana.

Desde 2003, Living Labs Global se ha convertido en una iniciativa global independiente y sostenible que recibe un fuerte apoyo de las ciudades, institutos tecnológicos, asociaciones y PYMES innovadoras, así como de la Comisión Europea.

La investigación de esta asociación se centra en los desarrollos del mercado de la movilidad, las políticas que promueven la innovación y los modelos emergentes de negocios. El objetivo es encontrar desafíos locales que puedan convertirse en soluciones globales. De este modo, sus planes de negocios se van adaptando a lo que esperan recibir los ciudadanos y no son estáticos (22).

En 2012, un proyecto titulado Smartcity Málaga promovido por la empresa Endesa fue uno de los galardonados en los Living Labs Global Awards de 2012 celebrados en Rio de Janeiro (23).

Smartcity Málaga se basa en que la ciudad tenga un “cerebro único” en el que se unifiquen el tráfico, los autobuses, las emergencias, y el Open Data encaminados a mejorar la calidad de vida de la ciudad.

El centro de control de tráfico permite al ciudadano observar el tráfico en tiempo real y reaccionar rápidamente si hay alguna incidencia en las carreteras. Respecto a los autobuses, su centro de control permite que los semáforos se pongan en verde cada vez que se acerque un autobús. El centro de Emergencias coordina los transportes de Bomberos, Policía Local y Protección civil para una actuación óptima (24).

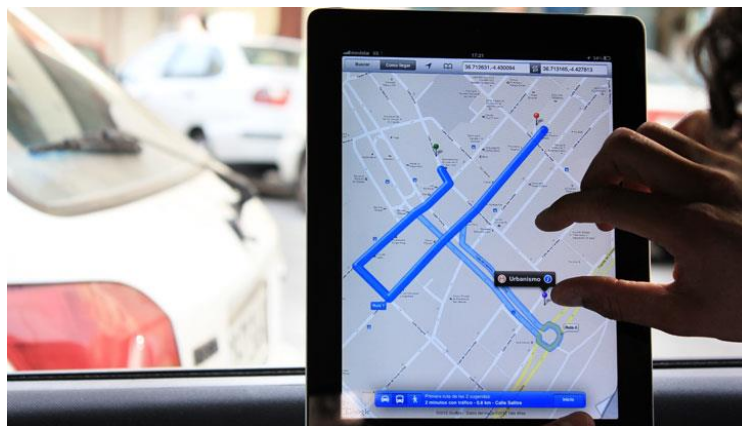


Figura 5. Ejemplo de aplicación utilizada para controlar el tráfico (Fuente: esmartcity.es)

3.3.3. Sostenibilidad

Este bloque temático es probablemente el más importante para una Smart City ya que el objetivo principal de ésta es la sostenibilidad. Las ciudades deben potenciar sus factores medioambientales gestionando y favoreciendo actuaciones ecológicas.

3.3.3.1. Programa 21

El proyecto Agenda 21 (también llamado Programa 21) es un acuerdo de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible. Este acuerdo surgió de la Conferencia sobre el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en 1992 en Rio de Janeiro. Este proyecto se llama Programa (o Agenda) 21 porque fue elaborado para el siglo XXI. (25)

Cuando se habla de Smart Cities el aspecto que más interesa de este proyecto es el Programa 21 Local que es un plan creado en el capítulo 28 del Programa 21. En el tercer punto de este capítulo se establece que las autoridades locales deberán dialogar con todos los agentes sociales que conforman la ciudad para convenir las actuaciones más adecuadas para la sostenibilidad de la ciudad que el propio Programa 21 Local define

Según la ONU (26) la definición de Programa 21 Local es : *“el esfuerzo colectivo de un municipio para llevar a cabo un acuerdo entre los distintos sectores de cada comunidad local, acerca de la realización a largo plazo de un plan de acción hacia la sostenibilidad; en este sentido, se deben establecer objetivos, metas, instrumentos, acciones, evaluación, criterios y métodos.”*

En una ciudad convencional se deben gestionar cientos de factores a la vez. En una Smart City, no sólo se deben gestionar, sino que se debe hacer sin dañar el medioambiente y de la manera más eficiente, centrándose entre otras cosas en:

- Gestión de la biodiversidad

El verde urbano es un bien escaso hoy en día que se debe proteger ya que tiene muchos efectos positivos en la ciudad. Los parques, los jardines, las áreas de recreo para mascotas, el arbolado, los huertos urbanos... todos contribuyen a la diversificación de la flora y la fauna en una realidad urbana y cosmopolita.



Figura 6. Representación futurista de una Smart City con mucha biodiversidad (Fuente: archdaily.com)

Lo que está claro es que la visión de las ciudades del futuro incluye todo el verde que la humanidad lleva cientos de años destruyendo precisamente para construir estas ciudades.

El objetivo principal de tener tanta flora a lo largo y ancho de la ciudad es el saneamiento del aire contaminado mediante la absorción del CO₂ por las plantas. Con este objetivo en mente la Smart City tendría sistemas de monitorización de la calidad del aire con los que se informaría a los ciudadanos (a través de las TICs) sobre la condición del aire de su ciudad en tiempo real.

La gestión de la biodiversidad nos lleva a hablar del siguiente tipo de gestión (la del agua) y a continuación se explicará la relación que deberían mantener en una Smart City. (27)

- Gestión del agua

Gestionar los recursos hídricos de manera responsable es clave para que el ciclo del agua se complete de la manera más ecológica posible. Es por eso por lo que se debe aprovechar absolutamente toda el agua en una ciudad.

Habiendo establecido esto, en una Smart City hasta las aguas grises tienen un uso. Las aguas grises provienen del uso doméstico de la ciudadanía, tales como el lavado de ropa o el baño. En una Smart City esta agua y la proveniente de la lluvia se recoge, se filtra y se utiliza para regar la flora pública (de ahí la conexión con el apartado anterior). El riego en una Smart City se controla por sensores tanto de humedad como de ambiente para así no malgastar ni una gota de agua. Las aguas grises también se pueden utilizar para las fuentes públicas decorativas después del filtraje. (28)

- Gestión de los residuos

En cuanto a los residuos está claro que la dirección que hay que tomar es la del reciclaje. Hoy en día en casi todas las ciudades de países desarrollados se recicla. Sin embargo, en una Smart City el método se modifica un poco.

Una idea es la de que los contenedores tengan sensores y envíen avisos al ayuntamiento cuando estén casi llenos. Esto es ya una realidad en la ciudad de Oxford y la compañía que fabrica estos contenedores se llama Big Belly.

Otra idea es la de que, sabiendo qué contenedores están llenos, se establezca la ruta más rápida para la recogida de estos mediante un sistema GPS. (29)

- Gestión del alumbrado público

Esta área es la que más importancia tiene en este proyecto ya que en la parte práctica se dimensionará y analizará la viabilidad de sustituir el alumbrado público de una ciudad por energías renovables.

En una Smart City utópica todas las fuentes de energía son renovables (placas solares, molinos de viento...) y eso incluye la energía del alumbrado público.

Con respecto a la tecnología el alumbrado debería tener sensores solares para utilizarse únicamente en las horas en las que faltase luz natural con la máxima exactitud. A su vez, es lógico pensar que las tecnologías utilizadas a lo largo de todo el alumbrado público deberán ser las que menos energía consuman del mercado.

3.3.4. Población

Como se ha comentado anteriormente la participación de la población es muy importante a la hora de construir el futuro de una sociedad. Los ciudadanos no son solamente receptores de información (por derecho, según el Convenio de Aarhus de 1999) sino que tienen que dar retroalimentación para que las autoridades sepan cómo están funcionando las diferentes áreas de la Smart City. Los ciudadanos de una Smart City participan activamente en la toma de decisiones de esta, y el consenso de la ciudadanía es primordial antes de implementar cualquier medida. (30)

Para que la ciudad evolucione y se tengan en cuenta las opiniones de su población en la toma de decisiones por parte de la administración, las TICs juegan un papel muy importante. Una Smart City será tan eficiente como amplio sea el espectro de población capaz de interpretar y utilizar sus instrumentos tecnológicos. (31)

3.3.5. Economía

Para convertir una ciudad convencional en “Smart” se necesita una inversión inicial bastante elevada. Sin embargo, las Smart Cities resultan las menos caras de gestionar a la larga, solamente hace falta calcular el retorno de la inversión. Las principales inversiones en una Smart City incluyen:

- Integración de datos y tecnología
- Instalación de fuentes de energía renovables

- Actualización de infraestructuras ya existentes

Una Smart City resulta más atractiva que una ciudad convencional para los habitantes dada su naturaleza ecológica. Por ahora, el turismo también es una fuente importante de los ingresos de una ciudad inteligente dado el atractivo de la novedad.

A modo de resumen, una imagen de las infraestructuras de una Smart City:

Áreas smart de la Administración pública local

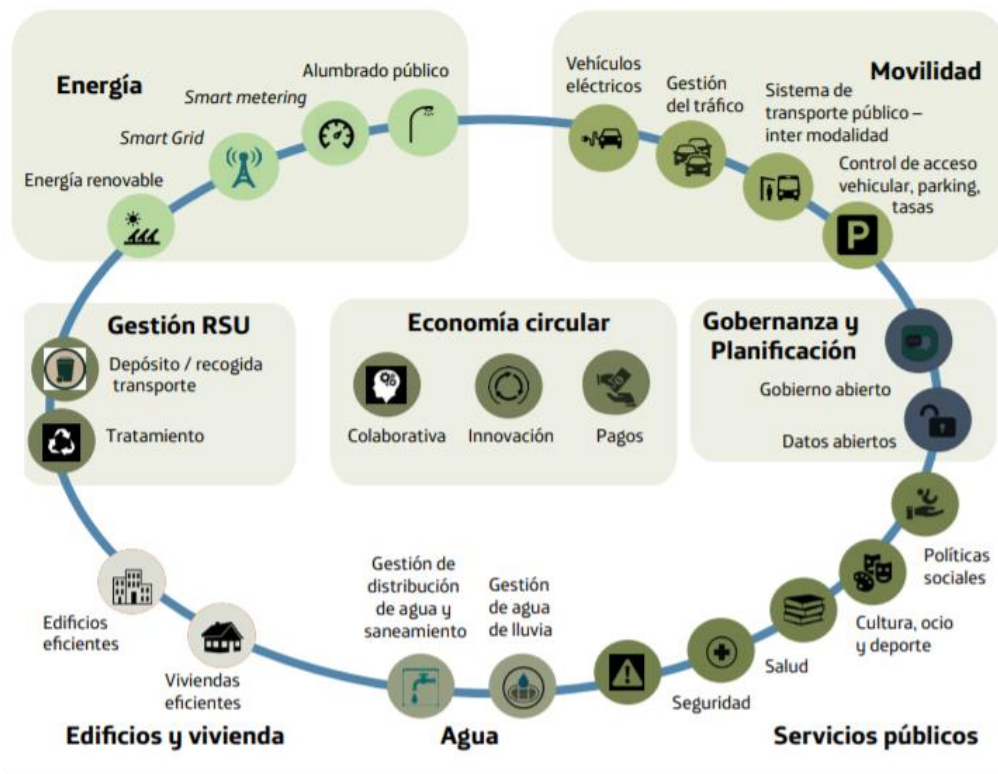


Figura 7. Resumen gráfico del funcionamiento de una Smart City (Fuente: AFI)

3.4. España y las Smart Cities

3.4.1. Plan Nacional de Ciudades Inteligentes

El Plan Nacional de Ciudades Inteligentes es la apuesta del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital para impulsar la industria tecnológica de las Smart Cities y ayudar a las administraciones locales en el proceso de evolución. Las funciones del plan son:

- Facilitar el proceso de transformación hacia Smart Cities
- Demostrar la eficiencia de las TICs en la reducción de costes, la satisfacción de la población
- Impulsar proyectos que creen nuevos modelos de negocio
- Desarrollar la industria de las TICs
- Contribuir al desarrollo económico maximizando el impacto de las TICs y modernizar así la economía y sociedad española (32).

3.4.2. RECI

La RECI es la Red Española de Ciudades Inteligentes. La RECI surgió en 2011 a partir del “Manifiesto por las Ciudades Inteligentes. Innovación para el progreso” con la finalidad de intercambiar experiencias y opiniones entre las Smart Cities del estado y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos españoles. Hoy en día está compuesta por 65 ciudades a lo largo y ancho del país y organizada en 5 grupos dependiendo de los proyectos que se estén llevando a cabo (33):

- Innovación social
- Energía
- Medio Ambiente y Habitabilidad
- Movilidad
- Gobierno y Economía

La RECI sirve de impulso para la creación de Smart Cities apoyando iniciativas como la de startup4cities, un evento celebrado en 2015. Esta iniciativa permite que ideas emprendedoras se apliquen en las ciudades de la RECI que son utilizadas como “Urban Labs” para poner a prueba los proyectos piloto y ver si funcionan. En este evento se presentaron un total de 108 proyectos de los que los 7 mejores acabaron siendo financiados (34).

4. Caso a estudiar: Sant Cugat del Vallés

En este capítulo se introduce la ciudad para la que se van a proponer avances en la parte práctica del trabajo. Como se ha comentado con anterioridad la parte práctica del trabajo se centra en la ciudad de Sant Cugat del Vallés.

Sant Cugat del Vallés está ubicada en la comarca del Vallés Occidental y pertenece a la provincia de Barcelona. Según el último censo realizado por el INE de 2017 la población de Sant Cugat es de 89516 habitantes, siendo así el tercer municipio más poblado del Vallés Occidental por detrás de Sabadell y Terrassa. El crecimiento de la población ha sido notable sobre todo en la primera década del siglo XXI ya que en esos 10 años Sant Cugat pasó de 52654 habitantes a 81901 habitantes.

La superficie de Sant Cugat es de 48,32 km² por lo que la proporción de habitantes es de 1852,57 hab/km² (35). Éste no es un valor excesivo, sin embargo, Sant Cugat es la ciudad con mayor natalidad del estado español por lo que el número de habitantes crece a un ritmo muy elevado. El constante crecimiento de la población en Sant Cugat se ve reflejado en la cantidad de edificaciones que se han puesto en marcha en el año 2017.

Este hecho es económicamente positivo para la ciudad, pero podría ser nocivo ecológicamente ya que más población implica más polución. En la parte práctica de este proyecto se intentará plantear una solución para que Sant Cugat siga avanzando hasta llegar a ser una Smart City.



Figura 8. Mapas de Sant Cugat (Fuentes: Google Maps y Wikipedia)

4.1. ¿Por qué Sant Cugat del Vallés?

Se ha escogido esta ciudad en cuestión por varias razones: la razón principal es la de que es la ciudad en la que reside la autora y por esto se tiene fácil acceso y conocimiento del municipio.

Una vez se indagó en los objetivos del ayuntamiento de la ciudad, se descubrió que ya hay varios proyectos puestos en marcha para convertirse en una Smart City, que el ratio de penetración de las nuevas tecnologías es más elevado que el de la media estatal y que la biodiversidad y el verde urbano se valoran por el ayuntamiento (1,4 habitantes por árbol) (36). Finalmente, se considera que el tamaño de Sant Cugat del Vallès parecía adecuado para la implantación del proyecto que se pretende llevar a cabo ya que no es una ciudad pequeña pero tampoco de gran tamaño.

4.2. Proyectos desarrollados en la ciudad

Como se ha comentado con anterioridad, Sant Cugat del Vallés ha invertido en convertirse en una Smart City en los últimos años. Forma parte de la RECI desde el 2014 y del Living Labs Global desde 2010 (37). A continuación, se presentarán los proyectos que la administración de la ciudad ha querido financiar.

4.2.1. Google Glass

En 2014, los vecinos de Sant Cugat fueron los primeros de todo el país en probar las Google glasses. Estas gafas de realidad aumentada se convierten en una especie de asistente que te permite buscar información de todo tipo sobre la ciudad. Gracias a las gafas se pueden ver imágenes en 3D de la ciudad, recibir información turística, hacer fotografías y compartir datos en las redes sociales. (38)

4.2.2. Smart Street

Otro proyecto desarrollado en Sant Cugat del Vallés es el de la calle inteligente. La calle Cèsar Martinell del centro de la ciudad ha sido modificada y forma parte de una prueba piloto para el proyecto Smart City Sant Cugat. (39)

En esta calle el aparcamiento, el alumbrado, el tráfico, el entorno ambiental y los residuos se controlan tecnológicamente mediante sensores.



Figura 9. Smart Street de Sant Cugat (Fuente: Tot Sant Cugat)

4.2.2.1. Sistema guiado de aparcamiento PARKHELP

El sistema PARKHELP es sistema en el que, gracias a una serie de sensores, los ciudadanos saben cuántas plazas libres para aparcar hay en los aparcamientos públicos. Con este sistema se consigue mejorar el tráfico y reducir la emisión de gases nocivos al medio ambiente. (40)



Figura 10. PARKHELP en Sant Cugat del Vallés (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)

4.2.2.2. Sistema de control y gestión del alumbrado SINAPSE

Este sistema está instalado en 4 farolas de esta calle en cuestión y consiste en que las farolas tienen sensores que permiten saber si hay peatones paseando por la calle. Así cuando no haya peatones estas farolas pueden mantenerse apagadas. (41)

4.2.2.3. Sistema de control ambiental y gestión de residuos URBOTICA-MOBA

Este sistema consta de una serie de sensores que proporcionan datos para gestionar los espacios y recursos de manera más sostenible. Existen sensores que detectan la humedad de la tierra para saber cuándo se tiene que regar, así como sensores de temperatura. En los contenedores de esta calle hay sensores que detectan cómo de llenos están permitiendo así optimizar el tiempo de recogida. (41)

4.2.3. Library Living Lab

Este proyecto se ha implantado en una de las bibliotecas públicas de Sant Cugat, en concreto en la de Vollpelleres. El concepto propone que la ciudadanía participe en tres proyectos dentro de la biblioteca:

- Creación de historias para niños
- Acceso online a recursos culturales mediante una app
- Creación de arte multimedia utilizando la realidad virtual (42)

4.3. Plan de actuación

Sabiendo que Sant Cugat del Vallès es una ciudad que quiere avanzar hacia conseguir el objetivo de ser una Smart City, se ha decidido que sea la ciudad en la que se implantarán los proyectos desarrollados en la parte práctica de este trabajo.

El proyecto principal es el del dimensionamiento de un campo de captación de energía solar fotovoltaica para cubrir el consumo del alumbrado de Sant Cugat del Vallès. Los datos del consumo se obtendrán directamente del ayuntamiento y a partir de ahí se establecerá cuántos paneles solares (y elementos acompañantes) se necesitarán para cubrir las necesidades del consumo. Finalmente se determinará si es posible el emplazamiento de la instalación. También se cuantificará el impacto ambiental y la viabilidad económica de este proyecto.

Una vez establecido el campo de captación y como parte secundaria de la fracción práctica de este trabajo se presentarán ideas prometedoras, para la instalación en cuestión y para otras áreas de la ciudad, que se podrían implantar en un futuro cercano.

5. Caso práctico: dimensionamiento del alumbrado público de Sant Cugat del Vallés

5.1. Normativa aplicable

Antes de comenzar con el dimensionado de la instalación se debe consultar la legislación vigente, y determinar la normativa actual a la que se tiene que acoger la instalación.

5.1.1. Normativa referente a la generación de Energía

5.1.1.1. Real Decreto núm. 413/2014, de 6 de junio

El primer decreto al que hay que referirse es el Real Decreto 413/2014 del 6 de junio (43), ya que el objeto de este es la regulación del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

De acuerdo con el artículo 2.1 del Decreto existen tres tipos de instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables:

- a) Productores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad a partir de energías residuales.
- b) Instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no fósiles.
- c) Instalaciones que utilicen como energía primaria residuos con valorización energética no contemplados en la sección b).

En este caso, la instalación de energía solar fotovoltaica de Sant Cugat del Vallès se acogerá al tipo “b)” ya que su fuente de energía será la radiación solar. Dentro del grupo b) existen 8 subgrupos:

1. Instalaciones que utilicen como energía primaria la energía solar:

- 1. Instalaciones que utilicen únicamente la radiación solar como energía primaria mediante tecnología fotovoltaica.
- 2. Instalaciones que utilicen únicamente procesos térmicos para la transformación de la energía solar en electricidad.

2. Instalaciones que utilicen como energía primaria la energía eólica:

1. Instalaciones eólicas ubicadas en el suelo
2. Instalaciones eólicas ubicadas en los espacios marinos.
3. Instalaciones que utilicen como energía primaria la geotérmica, hidrotérmica, aerotérmica, la de las olas, la de las mareas, la de las rocas calientes y secas, la oceanotérmica y la energía de las corrientes marinas.
4. Centrales hidroeléctricas con una potencia instalada no sea superior a 10 MW.
5. Centrales hidroeléctricas con una potencia instalada sea superior a 10 MW.
6. Centrales de generación eléctrica o de cogeneración que utilicen como combustible principal biomasa procedente de cultivos energéticos, de actividades agrícolas, ganaderas o de jardinerías, de aprovechamientos forestales y otras operaciones silvícolas en las masas forestales y espacios verdes, en los términos que figuran en el anexo I del Decreto.
7. Centrales de generación eléctrica o de cogeneración que utilicen como combustible principal bio líquido producido a partir de biomasa.
8. Centrales de generación eléctrica o de cogeneración que utilicen como combustible principal biomasa procedente de instalaciones industriales del sector agrícola o forestal en los términos que figuran en el anexo I del Decreto.

Una vez analizado este artículo se concluye que la instalación que nos ocupa es del tipo b.1.1: instalación que utiliza como energía primaria la solar y únicamente la radiación solar como energía primaria mediante la tecnología fotovoltaica.

Una vez establecido el tipo de instalación de producción de energía eléctrica con el que se está trabajando se pasa al título V, capítulo II de este mismo Decreto. En él se establecen los procedimientos relativos al registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica.

En este, se explica que las instalaciones de producción de energía eléctrica incluidas en el ámbito de aplicación del presente Real Decreto, deberán estar inscritas obligatoriamente en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Cada instalación se inscribirá en la sección que le corresponda en función de su potencia.

5.1.1.2. Real Decreto núm. 900/2015, de 9 de octubre

El Real Decreto 900/2015 del 9 de octubre (44) tiene por objeto el establecimiento de las condiciones administrativas, técnicas y económicas para las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica.

Se considera que el caso que nos ocupa es un caso de autoconsumo ya que la ciudad de Sant Cugat del Vallès producirá y consumirá la energía del alumbrado público y ésta no estará conectada a ninguna red de distribución.

Según el artículo 2 de este decreto, donde se establece el ámbito de aplicación de este, se reconocen como modalidades de autoconsumo de energía eléctrica las mencionadas en los apartados a), b) o c) del artículo 9 de la ley 24/2013, de 26 de diciembre.

5.1.1.3. Ley 24/2013, de 26 de diciembre

Después de leer el Real Decreto 900/2015 se acude a Ley del Sector Eléctrico, también llamada Ley 24/2013 (45) que tiene por objeto establecer la regulación del sector eléctrico con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica.

Según el artículo 1 de esta ley se consideran actividades destinadas al suministro de energía eléctrica: generación, transporte, distribución, servicios de recarga energética, comercialización e intercambios intracomunitarios e internacionales, así como la gestión económica y técnica del sistema eléctrico. Sabiendo esto, y sabiendo que en este proyecto se generará energía eléctrica, se considera que este es un proyecto de autoconsumo.

Como se ha dicho antes, en el artículo 9 de esta ley se distinguen diferentes modalidades de autoconsumo. La instalación que nos ocupa se acogería al tipo b). Este tipo establece que la instalación trabaja con una modalidad de producción con autoconsumo donde los consumidores están asociados a una instalación de producción debidamente inscrita en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica conectada en el interior de su red.

En este caso debe haber dos sujetos de los previstos en el artículo 6 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del sector eléctrico, que serán los consumidores y los productores.

5.1.2. Normativa referente al alumbrado

5.1.2.1. Real Decreto núm. 1890/2008, de 14 de noviembre

El Real Decreto 1890/2008 (46) tiene por objeto establecer las condiciones técnicas que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior. Se supone que hoy en día el ayuntamiento de Sant Cugat ha tenido en cuenta este Decreto y lo está aplicando.

5.1.2.2. Ley 6/2001, de 31 de mayo y Real Decreto 190/2015, de 25 de agosto

Estos dos documentos (47)(48) tienen por objeto la regulación de las instalaciones y los aparatos de alumbrado exterior e interior por lo que respecta a la contaminación lumínica que pueden producir. En el Real Decreto 190/2015 se establecen las características que deben cumplir las instalaciones y los aparatos.

Se presupone de nuevo que el ayuntamiento de Sant Cugat ya ha consultado estos decretos y está cumpliendo lo que se dispone en ellos.

5.1.3. Normativa referente a los paneles fotovoltaicos

En cuanto a los paneles fotovoltaicos, se acude al Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Aislada de Red del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (49).

En el capítulo 5.2 se establecen las premisas que se deben seguir en cuanto a los generadores fotovoltaicos. A continuación, se expondrán algunos de los puntos más relevantes.

Según el apartado 5.2.1 todos los módulos deberán satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215 para módulos de silicio cristalino, UNE-EN 61646 para módulos fotovoltaicos de capa delgada, o UNE-EN 62108 para módulos de concentración, así como la especificación UNE-EN 61730-1 y 2 sobre seguridad en módulos FV, Este requisito se justificará mediante la presentación del certificado oficial correspondiente emitido por algún laboratorio acreditado.

El apartado 5.2.2 establece también que el módulo llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo, nombre o logotipo del fabricante, y el número de serie, trazable a la fecha de fabricación, que permita su identificación individual.

5.1.4. Normativa referente a los reguladores de carga

Según el Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Aislada de Red del IDAE (49) Los reguladores de carga que utilicen la tensión del acumulador como referencia para la regulación deberán cumplir los siguientes requisitos:

- La tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando el acumulador haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida (ver 5.4.3). La precisión en las tensiones de corte efectivas respecto a los valores fijados en el regulador será del 1 %.
- La tensión final de carga debe asegurar la correcta carga de la batería.
- La tensión final de carga debe corregirse por temperatura a razón de $-4 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ a $-5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ por vaso, y estar en el intervalo de $\pm 1 \%$ del valor especificado.
- Se permitirán sobrecargas controladas del acumulador para evitar la estratificación del electrolito o para realizar cargas de igualación.

5.1.5. Normativa referente al cableado

Para la normativa que comprende al cableado hay que referirse al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) (50).

Algunas de las Instrucciones Técnicas Complementarias que hay que tener en cuenta son:

- ITC-BT-08 del REBT (51):

En esta se establecen los diferentes sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica. También se determinan las secciones que deben tener los conductores neutros.

- ITC-BT-19 del REBT (52):

En esta instrucción se establece cual debe ser la naturaleza, la sección, las intensidades máximas admisibles y las caídas de tensión de los conductores.

- ITC-BT-24 del REBT (53):

En esta instrucción se describen las medidas destinadas a asegurar la protección contra los choques eléctricos (contactos directos e indirectos).

- ITC-BT-40 del REBT (54):

En esta se establecen las premisas de las condiciones para la conexión de las instalaciones generadoras aisladas y las características de la puesta a tierra según el funcionamiento de la instalación generadora de baja tensión respecto a la Red de Distribución Pública.

Las secciones normalizadas que puede tener el cableado se establecen por la Comisión Internacional Electrotécnica IEC60228 (55) . Las secciones son las que se ven en la figura siguiente.

Conductor Cross-Sectional Area Size				
0.5mm ²	6m ²	70m ²	300m ²	1200m ²
0.75mm ²	10m ²	95m ²	400m ²	1400m ²
1mm ²	16m ²	120m ²	500m ²	1600m ²
1.5mm ²	25m ²	150m ²	630m ²	1800m ²
2.5mm ²	25m ²	185m ²	800m ²	2000m ²
4mm ²	50m ²	240m ²	1000m ²	2500m ²

Figura 11. Secciones normalizadas del cableado (Fuente: Eland cables)

5.2. El clima en Sant Cugat del Vallès

Antes de pasar a los cálculos del dimensionado, es necesario estudiar el clima de la ciudad en cuestión para decidir qué fuente de energía renovable será la más apropiada para el caso que nos concierne. Las dos fuentes de energía renovables que se barajan son la eólica y la solar. Se han descartado las energías mareomotriz e hidráulica por la poca proximidad de grandes cantidades de agua.

En los siguientes gráficos se mostrarán la velocidad media mensual del viento (56), así como las horas de luz solar diarias registradas (57) en el 2017 en Sant Cugat del Vallès.

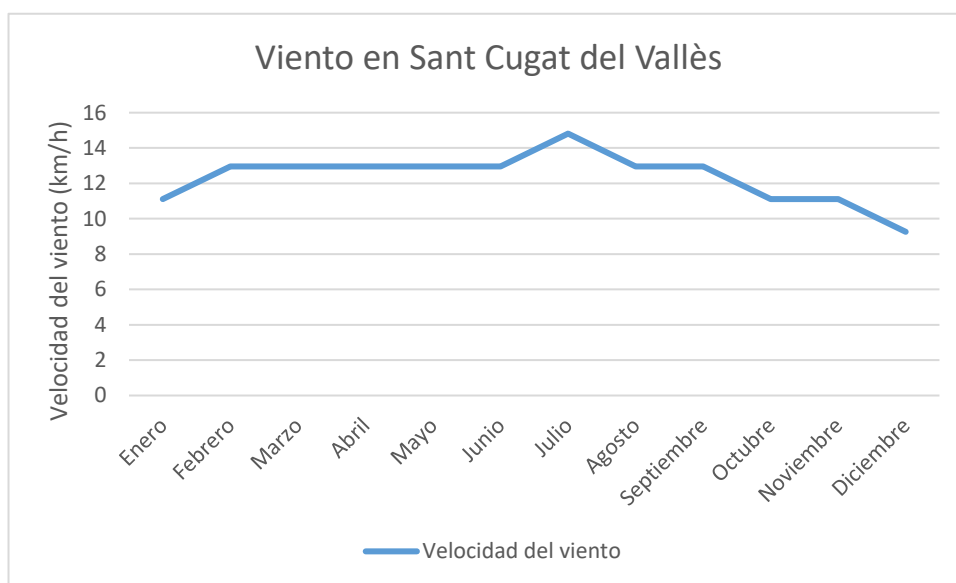


Figura 12. Gráfico que muestra la velocidad del viento en Sant Cugat en 2017 (Fuente: propia)

El primer enfoque para el recurso eólico es el de la instalación de un parque eólico a las afueras de Sant Cugat. Sin embargo, este tendría que estar a un mínimo de 500 metros de la ciudad según el decreto 174/2002, del 11 de junio de 2002 (58) y no hay terrenos aptos para la instalación de un parque eólico en ese radio de la ciudad.

La estación eólica de la que se extraen los datos del gráfico tiene una altura de 10 metros por lo que sirve de referencia para los molinos de energía mini eólica. En el gráfico se aprecia que la velocidad de viento no es muy elevada, lo que puede conducir a que la instalación de un mini aerogenerador en la zona no sea del todo adecuada, al no haber un buen potencial eólico.

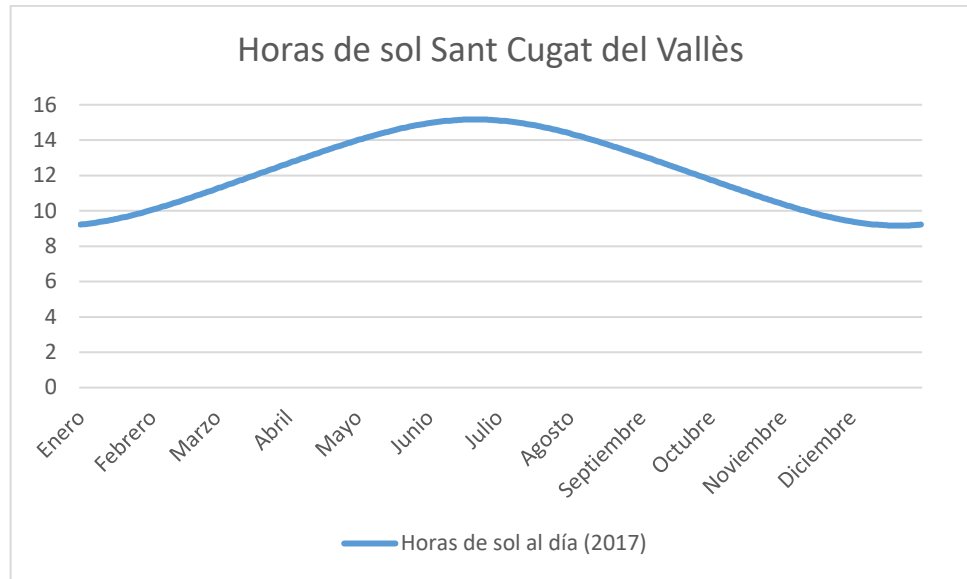


Figura 13. Gráfico que muestra las horas de sol en Sant Cugat en 2017 (Fuente: propia)

Como se observa en el gráfico Sant Cugat del Vallès tiene una media bastante alta de horas de luz solar al año. Es por esto por lo que se decide continuar este estudio habiendo determinado que el recurso renovable con el que se trabajará es el de Energía Solar Fotovoltaica. Para el dimensionamiento del campo de captadores solares se hará un estudio más profundo de la radiación incidente en la ciudad.

5.3. Determinación de la Microred de estudio

5.3.1. Definición de Microred

Una Microred se define como un grupo localizado de sistemas de producción de energía la cual puede operar de manera autónoma. La Microred supone un acercamiento de la producción al consumo reduciendo así las pérdidas que conlleva el transporte de energía. Las características complejas de las Microredes hacen que sea indispensable un sistema de gestión de energía que garantice el correcto funcionamiento del sistema para mantener la calidad del suministro y maximizar el aprovechamiento de la fuente de energía renovable.

5.3.2. Sistema de gestión de energía (EMS)

Por tanto, para gestionar la energía en una Microred, será necesario un Energy Management System (o sistema de gestión de energía). Un EMS debe ser capaz de la monitorización, el control y la gestión del sistema.

5.3.3. Microred de estudio

En este caso el sistema fotovoltaico autónomo deberá alimentar, como se ha dicho anteriormente, el alumbrado público de toda la ciudad de Sant Cugat del Vallès. Es por esto por lo que este campo de captadores alimentará únicamente cargas en corriente alterna y su montaje (grosso modo) se muestra en la figura siguiente.

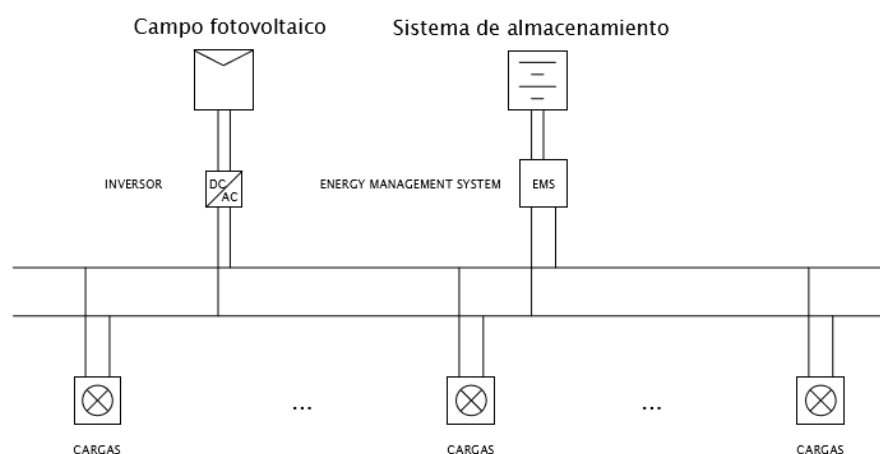


Figura 14. Esquema preliminar de los elementos necesarios para Microred (Fuente: propia)

Como se observa, el montaje está formado por:

- Paneles fotovoltaicos
- Inversor DC/AC
- Baterías de almacenamiento
- Sistema de gestión de energía (EMS)
- Cableado
- Cargas

5.4. Determinación de la tensión nominal de funcionamiento

Una vez definida la estructura base de la instalación se debe determinar la tensión nominal de funcionamiento. Dado que se trata de alimentar el alumbrado público de toda una ciudad se trabaja con potencias muy elevadas por lo que la tensión nominal de trabajo será de 400 V.

5.5. Consumo del alumbrado

Antes de entrar en los cálculos detallados se debe establecer el consumo del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès (en Wh/día).

Para acceder a estos datos se ha contactado con Gerard Riba, responsable en el ayuntamiento de la gestión de la calidad urbana y del alumbrado público de la ciudad. Gracias a Gerard, se saben las características referentes al alumbrado de la ciudad: tipo de alumbrado, cantidad, potencia instalada y lúmenes. Los lúmenes son una medida de la cantidad de luz que proporciona una fuente (59). Como se ha explicado, los lúmenes han sido calculados por el ayuntamiento. Los cálculos se han llevado a cabo siguiendo las premisas:

- Alumbrado de vapor de sodio de alta presión: 100 lm/W
- Halogenuros metálicos: 90 lm/W
- Fluorescentes: 80 lm/W
- Alumbrado de vapor de mercurio: 50 lm/W
- LEDs a $T < 3500$ K: 90 lm/W
- LEDs a $T \geq 3500$ K: 100 lm/W
- Otras: 30 lm/W

Todos estos datos junto con las horas de encendido al día del alumbrado (que se extraerán del gráfico anterior que reflejaba las horas de luz solar) se presentan en las siguientes tablas. Se ha optado por hacer dos tablas: una para el mes en el que menos horas está encendido el alumbrado y otra para el mes en el que más.







Tipo	Cantidad	Potencia consumida por unidad(W)	Lúmenes totales	Horas encendido mínimas (junio) (h/día)	Energía consumida (kWh/día)
Vapor de mercurio 	126	179,8	963050	9	203,94
Vapor de sodio de alta presión 	13353	102,4	116187350	9	12302,19
Fluorescente 	1501	26,6	3068160	9	359,55
Halogenuros metálicos 	746	88,8	5066595	9	596,07
LED T<3500 K 	1255	42,4	4598208	9	478,98
LED T>=3500 K  1	1992	42,2	8074560	9	756,99
Otras	123	18,5	65376	9	20,43
Total (todas las unidades)	19096	P*cantidades= 1635350	138023299	9	14718,15

Tabla 1. Datos de consumo para el mes con más luz solar (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)

¹ La fuente de todas las imágenes es la empresa OSRAM







Tipo	Cantidad	Potencia consumida por unidad(W)	Lúmenes totales	Horas encendido máximas (diciembre) (h/día)	Energía consumida (kWh/día)
Vapor de mercurio 	126	179,8	963050	15	339,9
Vapor de sodio de alta presión 	13353	102,4	116187350	15	20503,65
Fluorescente 	1501	26,6	3068160	15	599,25
Halogenuros metálicos 	746	88,8	5066595	15	993,45
LED T<3500 K 	1255	42,4	4598208	15	798,3
LED T>=3500 K  1	1992	42,2	8074560	15	1261,65
Otras	123	2270	18,5	15	34,05
Total	19096	P*cantidades= 1635350	138023299	15	24530,25

Tabla 2. Datos de consumo para el mes con menos luz solar (Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat)

¹ La fuente de todas las imágenes es la empresa OSRAM

Una vez analizados los datos del consumo teórico proporcionados por el Ayuntamiento, se decide continuar trabajando con el consumo más elevado (el del mes de diciembre). Por tanto, las ecuaciones siguientes serán las relativas al mes de diciembre, sin embargo, en la hoja de Excel se calcularán para todos los meses del año.

Por tanto, en el siguiente ejemplo se parte del consumo energético teórico del mes de diciembre, que es el de **24530,25 kWh/día**.

Una vez establecido ese valor, se debe establecer el consumo total “neto” de energía necesaria para la instalación en Ah/día (60).

$$C_{total} = \frac{E_{total}}{V_{nom}} = \frac{24530250 \frac{Wh}{día}}{400V} = 61325,625 \text{ Ah/día} \quad (\text{Ec.1.})$$

A partir de aquí se establecen las pérdidas de energía por el conexionado, también en Ah/día, que serán el 10% del valor calculado anteriormente.

$$C_{loss} = \frac{10}{100} * C_{total} = \frac{10}{100} * 61325,625 \frac{Ah}{día} = 6132,56 \text{ Ah/día} \quad (\text{Ec.2.})$$

Finalmente se calcula la energía total requerida, también en Ah/día, que es básicamente la suma de las últimas dos cantidades.

$$C_{req} = C_{total} + C_{loss} = 61325,625 \frac{Ah}{día} + 6132,56 \frac{Ah}{día} = 67458,19 \frac{Ah}{día} \quad (\text{Ec.3.})$$

5.6. Evaluación de las pérdidas de la instalación

Se procede a hacer una estimación de las pérdidas de la instalación, para esto se cogerán parámetros aproximados para los diferentes elementos del campo solar fotovoltaico (60).

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * [1 - \frac{K_A * D_{aut}}{P_{Dmax}}] \quad (\text{Ec.4.})$$

Donde:

- K_T : Pérdidas totales de la instalación
- K_B : Pérdidas debidas al rendimiento de la batería. Estas pérdidas se refieren a la energía que la batería disipa en forma de calor. Se establecerá un valor del 3%.
- K_C : Pérdidas debidas al rendimiento del inversor. Se establecen estas pérdidas en el 3%.
- K_R : Pérdidas debidas al rendimiento del regulador. Suele depender de la tecnología utilizada, pero, si no se conoce el valor, se establece en un 10%.
- K_X : Otras pérdidas (como las del efecto Joule). Se escoge un valor del 3%.
- K_A : Pérdidas debidas a la autodescarga de la batería. Su valor por defecto es del 0,5%.
- D_{aut} : Días de autonomía de la instalación: días seguidos que la instalación tendrá que funcionar sin la fuente de energía solar. Se establecen 4 días de autonomía para la instalación.
- P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga (en %). En un principio se establece este valor en el 80%.

Por tanto, se establece:

$$K_T = [1 - (0,03 + 0,03 + 0,1 + 0,03)] * [1 - \frac{0,005 * 4}{0,8}] = 0,79 \quad (\text{Ec.5.})$$

Finalmente se calculará el consumo de energía total considerando las pérdidas, también en Ah/día. Se calculará para todos los meses, pero en la siguiente ecuación se muestra el cálculo para el mes de diciembre.

$$C'_{req} = \frac{C_{req}}{K_T} = \frac{67458,19 \frac{Ah}{día}}{0,79} = 85417,14 \text{ Ah/día} \quad (\text{Ec.6.})$$

Una vez calculado el consumo de energía total, se presenta el valor de este para cada mes en la siguiente tabla.

Mes	C'req
Enero	79722,67
Febrero	74028,19
Marzo	68333,71
Abril	62639,24
Mayo	56944,76
Junio	51250,28
Julio	51250,28
Agosto	56944,76
Septiembre	68333,71
Octubre	74028,19
Noviembre	79722,67
Diciembre	85417,14
Media anual	67384,63

Tabla 3. Consumo total para cada mes (Fuente: propia)

5.7. Recurso Solar

En esta sección se estudiará con más detalle la fuente de energía escogida (radiación solar) con el fin de hacer un estudio lo más exacto posible de la viabilidad del aprovechamiento solar mediante paneles fotovoltaicos (61).

Según el Atlas de Radiación Solar en Cataluña (62), que proporciona la radiación media anual (en MJ/m²) en el territorio catalán, la zona de Sant Cugat del Vallès está situada en una zona donde la radiación solar media anual es de 14,5 MJ/m².

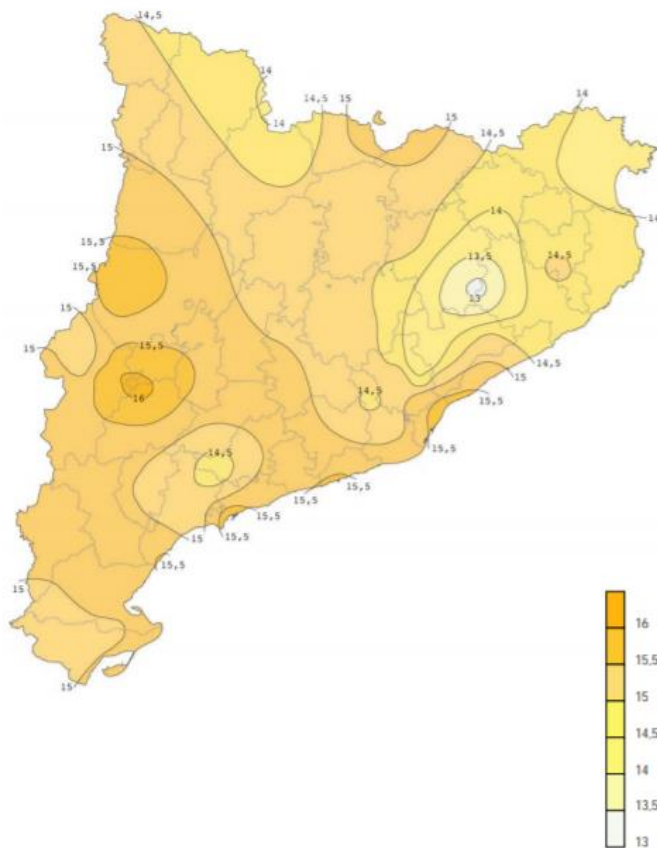


Figura 15. Mapa de radiación solar en Cataluña (Fuente:ARSC)

Para obtener datos más detallados de la radiación en esta ciudad se decide utilizar el programa PVGIS de la Comisión Europea. En este programa se han insertado los siguientes parámetros:

- Latitud: 41.453

- Longitud: 2.076

5.7.1. Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

Para obtener los datos de la radiación se debe definir primero el ángulo de inclinación de los paneles solares. Gracias al programa PVGIS se dispone de la radiación solar global recibida cada mes en Sant Cugat del Vallès para diferentes inclinaciones. Para decidir la inclinación de los paneles se utilizará el método del mes crítico.

En primer lugar, se obtiene la radiación solar recibida para diferentes inclinaciones (en kWh/m²) para cada mes.

	0º	10º	20º	30º	40º	50º	60º
En.	2,17	2,75	3,26	3,7	4,04	4,27	4,39
Feb.	3,1	3,7	4,22	4,64	4,93	5,1	5,13
Mar.	4,68	5,23	5,66	5,96	6,11	6,11	5,95
Ab.	5,48	5,81	6,01	6,06	5,97	5,74	5,36
May.	6,66	6,81	6,81	6,66	6,36	5,91	5,32
Jun.	7,4	7,45	7,33	7,06	6,63	6,05	5,33
Jul.	7,37	7,48	7,42	7,19	6,8	6,24	5,54
Ag.	6,3	6,59	6,73	6,7	6,51	6,17	5,67
Sept.	4,84	5,3	5,64	5,85	5,91	5,82	5,58
Oct.	3,53	4,09	4,55	4,91	5,14	5,24	5,21
Nov.	2,35	2,91	3,41	3,82	4,13	4,34	4,43
Dic.	1,9	2,46	2,97	3,4	3,75	3,99	4,13

Tabla 4. Datos de radiación solar (Fuente: PVGIS, Elaboración: propia)

Es en este momento cuando se pasa a presentar la tabla con los consumos diarios de cada mes. Es decir, se multiplican los valores de potencia proporcionados por el ayuntamiento por las horas medias de ausencia de luz solar de cada mes (como se ha hecho en la tabla 1 y 2).

Mes	Etotal (Wh/día)
Enero	22894900,00
Febrero	21259550,00
Marzo	19624200,00
Abril	17988850,00

Mayo	16353500,00
Junio	14718150,00
Julio	14718150,00
Agosto	16353500,00
Septiembre	19624200,00
Octubre	21259550,00
Noviembre	22894900,00
Diciembre	24530250,00

Tabla 5. Datos de consumo medio diario para cada mes (Fuente: propia)

Una vez se dispone de las tablas 4 y 5, se divide el valor del consumo medio diario de cada mes (tabla 5) por los valores de las radiaciones de la tabla 4. El resultado se muestra en la tabla 6.

	0º	10º	20º	30º	40º	50º	60º
En.	10550645,16	8325418,182	7022975,46	6187810,811	5667054,455	5361803,279	5215239,18
Feb.	6857919,355	5745824,324	5037808,057	4581799,569	4312281,947	4168539,216	4144161,793
Mar.	4193205,128	3752237,094	3467173,145	3292651,007	3211816,694	3211816,694	3298184,874
Ab.	3282636,861	3096187,608	2993153,078	2968457,096	3013207,705	3133945,993	3356128,731
May.	2455480,48	2401395,007	2401395,007	2455480,48	2571305,031	2767089,679	3073966,165
Jun.	1988939,189	1975590,604	2007933,151	2084723,796	2219932,127	2432752,066	2761378,987
Jul.	1997035,278	1967667,112	1983578,167	2047030,598	2164433,824	2358677,885	2656705,776
Ag.	2595793,651	2481562,974	2429940,565	2440820,896	2512058,372	2650486,224	2884215,168
Sept.	4054586,777	3702679,245	3479468,085	3354564,103	3320507,614	3371855,67	3516881,72
Oct.	6022535,411	5197933,985	4672428,571	4329847,251	4136099,222	4057166,031	4080527,831
Nov.	9742510,638	7867663,23	6714046,921	5993429,319	5543559,322	5275322,581	5168148,984
Dic.	12910657,89	9971646,341	8259343,434	7214779,412	6541400	6147932,331	5939527,845

Tabla 6. Datos de consumo medio diario de cada mes dividido entre la radiación de cada mes (Fuente: propia)

De estos cocientes, se tomará el máximo para cada inclinación y, de todos los máximos anteriores se escoge el menor, de forma que se elige la inclinación óptima para el peor de los meses. Como es de

esperar el máximo para cada inclinación pertenece al mes de diciembre, y el mínimo de estos corresponde a la inclinación de 60°.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Dic.	12910657,89	9971646,341	8259343,434	7214779,412	6541400	6147932,331	5939527,845

Tabla 7. Inclinación óptima de los paneles (Fuente: propia)

5.7.2. Radiación solar total diaria recibida mes a mes para el ángulo de inclinación

El cálculo de la energía solar incidente sobre una superficie con una inclinación se realiza, de forma aproximada, multiplicando los datos disponibles de la radiación sobre una superficie horizontal (H) por el coeficiente k, que varía según la latitud del sitio a estudiar (61). De esta energía habrá una parte no aprovechable que se estima en un 6%, y es por ello por lo que se multiplicará la ecuación por 0,94.

$$E = 0,94 * k * H \quad (\text{Ec.7.})$$

Donde:

- E es la energía de la radiación solar incidente sobre la superficie de los captadores solares en MJ/(m²*día)
- K es el coeficiente en función de la latitud para un ángulo de 60°
- H es la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal en MJ/(m²*día)

Como se ha hecho anteriormente, se utiliza el programa PVGIS para obtener la radiación solar incidente en una superficie horizontal en Sant Cugat del Vallès en MJ/m²/día.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic
Rad.	7,812	11,16	16,848	19,728	23,976	26,64	26,532	22,68	17,424	12,708	8,46	6,84

Tabla 8. H para un plano horizontal para cada mes en Sant Cugat (Fuente: propia)

Para establecer el valor del coeficiente k, se acude a la tabla del libro “Instalaciones Solares Térmicas de Baja Temperatura” correspondiente a la latitud de 41°.

Inclinación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.1	1.15	1.18	1.17
15	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.1	1.2	1.32	1.39	1.37
30	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35	1.38	1.29	1.18	1.07	.99	.96	.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40	1.4	1.3	1.18	1.05	.95	.93	.94	1.06	1.22	1.4	1.52	1.5
45	1.42	1.3	1.16	1.03	.93	.89	.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50	1.42	1.3	1.14	.99	.88	.84	.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55	1.42	1.28	1.12	.95	.83	.79	.84	.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60	1.41	1.26	1.08	.91	.78	.73	.78	.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65	1.39	1.23	1.04	.85	.72	.67	.72	.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70	1.36	1.19	.99	.8	.66	.61	.66	.81	1.04	1.32	1.52	1.5
75	1.32	1.15	.94	.73	.59	.54	.59	.74	.99	1.28	1.48	1.47
80	1.28	1.1	.88	.67	.52	.46	.52	.67	.93	1.23	1.44	1.43
85	1.23	1.04	.82	.6	.44	.39	.44	.6	.86	1.16	1.38	1.38
90	1.17	.98	.74	.52	.36	.31	.36	.52	.78	1.09	1.32	1.32

Figura 16. Tabla de coeficiente k para una latitud de 41º (Fuente: ISBT)

Finalmente, se aplica la ecuación 7 para la radiación y el coeficiente de cada mes dando como resultado la siguiente tabla que refleja la energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos con la inclinación de 60º.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media anual
E MJ/(m2·día)	10,35	13,22	17,10	16,88	17,58	18,28	19,45	19,61	18,67	16,60	12,41	9,9	15,84

Tabla 9. E para cada mes (Fuente: propia)

5.8. Selección de panel fotovoltaico

Para seleccionar los paneles que se utilizarán en el campo de captación, se han comparado cuatro tipos de paneles y se han evaluado sus características.

	A-330P Atersa	SunModule SW 300 Mono	LG LG335N1C-A5	P260PGHC Vitovolt
Potencia (W)	330	300	335	260
Corriente en el punto de máxima potencia del panel: I_{mp} (A)	8,65	9,31	9,83	8,58
Tensión en el punto de máxima potencia del panel: V_{mp} (V)	38,15	32,6	34,1	30,97
Tensión máx (V)	1000	1000	1000	1000
Dimensiones ancho (mm)	990	1001	1016	992
Dimensiones largo (mm)	1965	1675	1686	1640

Tabla 10. Tabla de comparación de paneles fotovoltaicos (Fuente: propia)

Finalmente se ha optado por el modelo de la marca LG LG335N1C-A5 por ser el de mayor potencia. Su ficha técnica está disponible en el anexo A1.

5.8.1. Energía proporcionada por el panel fotovoltaico

Para calcular la energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos se aplicará la siguiente ecuación (61):

$$E_{mód} = \eta_{mód} * I_{mp} * HSP(\alpha) \quad (\text{Ec.8.})$$

Donde:

- E es la energía proporcionada por el panel (en Ah/día).
- $\eta_{mód}$ es el rendimiento del panel que se establece en 93%.
- I_{mp} Corriente en el punto de máxima potencia del panel (en A), que, como se ha establecido antes, es 9,83 A.

- $HSP(\alpha)$ Horas solares pico (en h) para una inclinación α del panel.

La hora solar pico es una unidad que mide la radiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . (63)

Por ejemplo, una radiación igual a 4500 Wh/día equivale a una irradiancia de 1000 W durante $4,5 \text{ h}$. Por lo que $HSP=4,5$.

1 HSP equivale a $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m^2 .

En este caso, las HSP se obtendrán a partir de los valores de la energía solar incidente calculados anteriormente (tabla 9). La unidad de estos valores es $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$. Por lo tanto, se dividirán los valores para cada mes por 3,6.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
HSP (h/día)	2,88	3,67	4,75	4,69	4,88	5,08	5,40	5,45	5,19	4,61	3,45	2,75	4,4

Tabla 11. HSP para cada mes (Fuente: propia)

Sabiendo estos valores, se aplica la ecuación 8 para calcular la energía proporcionada por los paneles para cada mes.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Emód Ah/día	26,29	33,57	43,43	42,85	44,64	46,42	49,40	49,81	47,41	42,17	31,50	25,14	40,2

Tabla 12. Emód para cada mes (Fuente: propia)

5.9. Cálculo del número total de módulos en paralelo y en serie

5.9.1. Cálculo del número de módulos en paralelo

Para calcular el número de paneles del campo de captación que se deben conectar en paralelo se dividirá el consumo de energía total (considerando las pérdidas) por la energía proporcionada por el panel (61). Para hacer este cálculo se emplean los valores medios de los elementos de la ecuación.

$$npp = \frac{C'_{req}}{E_{mód}} = \frac{67384,63 \text{ Ah/día}}{40,2 \text{ Ah/día}} = 1675,4 \text{ paneles} \quad (\text{Ec.9.})$$

Por tanto, se establece el número de paneles conectados en paralelo en **1676 paneles**.

5.9.2. Cálculo del número de módulos en serie

Para calcular el número de paneles del campo de captación que se deben conectar en serie se dividirá la tensión nominal del sistema (establecida al principio de este capítulo como 400 V) por la tensión en el punto de máxima potencia del panel fotovoltaico (establecida en la ficha técnica como 34,1 V). (61)

$$nps = \frac{V_{nom}}{V_{mp}} = \frac{400}{34,1} = 11,7 \text{ paneles} \quad (\text{Ec.10.})$$

Por tanto, el número de paneles conectados en serie será **12 paneles**.

5.9.3. Número total de paneles

Finalmente, para saber el número total de paneles, simplemente se multiplicarán los dos valores calculados anteriormente.

Por tanto, el número total de paneles para abastecer el alumbrado público de Sant Cugat del Vallès es **20112 paneles**.

5.10. Dimensionamiento de los elementos de la instalación

Una vez establecida la cantidad de paneles necesarios, se observa que es un número muy elevado. Si se emplazase la instalación fotovoltaica en un único sitio cuando la energía viajase por el cableado (que podría tener kilómetros de longitud hasta llegar a la otra punta de la ciudad) las pérdidas serían tan grandes que el alumbrado ni se encendería. Es por esto por lo que se decide que la instalación fotovoltaica estará dividida en sectores y subsistemas. Se presenta un primer esquema de cómo será la Microred que nos ocupa.

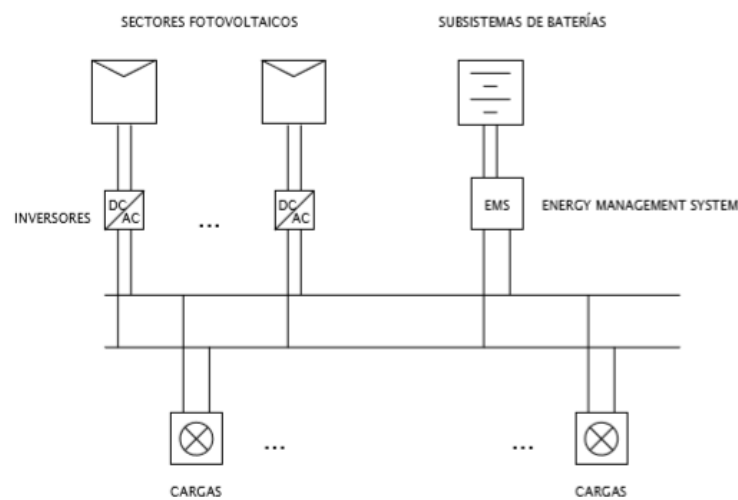


Figura 17. Esquema inicial de la Microred de la instalación (Fuente: propia)

En este esquema se ha intentado explicar la distribución que tendrá el sistema. Los datos que se saben por ahora son que existen 19096 cargas y 20112 paneles. En este capítulo se dimensionará el resto de los elementos. Esto incluye:

- Sistema de almacenamiento
- Inversor (convertidor DC/AC)
- Sistema de gestión de energía
- Cableado
- Protecciones

5.10.1. Sistema de almacenamiento

El método de almacenamiento en campos de captación más utilizado hoy en día es el de las baterías de acumulación solar. Las baterías de acumulación se encargan de transformar la energía eléctrica que

se genera en el panel solar y acumularla en forma de energía química para poder utilizarla cuando no se disponga de radiación solar.

Las baterías que se pueden encontrar a día de hoy en el mercado incluyen (64):

- Baterías Monoblock
- Baterías AGM (Absorbent Glass Mat)
- Baterías de gel
- Baterías de litio
- Baterías estacionarias

Éstas últimas son las que se han escogido para la instalación solar fotovoltaica de Sant Cugat del Vallès. Se ha decidido optar por las baterías estacionarias ya que son las más adecuadas para grandes instalaciones y tienen una larga vida útil.

La batería en cuestión es la Batería Estacionaria BAE 48V 4420 Ah. Su ficha técnica estará disponible en el Anexo A2.



Figura 18. Batería escogida para la instalación (Fuente: autosolar.es)

Cuando se ha determinado la batería que se va a utilizar, se pasa a calcular la cantidad de baterías que se necesitarán en la Microred que nos concierne.

El primer paso es calcular la capacidad de almacenamiento (en Ah) que deben tener las baterías (C_{alm}) y se hará, con el valor medio anual de C'_{req} , aplicando la siguiente ecuación (65):

$$C_{alm} = \frac{C'_{req} * D_{aut}}{P_{Dmax}} * 100 = 336923,17 \text{ Ah} \quad (\text{Ec.11.})$$

Con este dato, y sabiendo la capacidad de las baterías (4420 Ah) se calcula el número de baterías que se necesitarán en paralelo. (65)

$$Nb = \frac{C_{alm}}{C_{bat}} = 76,2 \quad (\text{Ec.12.})$$

Por tanto, se redondea el número de baterías conectadas en paralelo a **76 baterías**.

Para calcular el número de baterías que se deben conectar en serie se dividirá la tensión que admite el EMS seleccionado (expuesto a continuación) para las baterías (48 V) entre la tensión de las baterías (48 V). (65)

$$Nbs = \frac{V_{EMSbat}}{V_{bat,nom}} = 1 \quad (\text{Ec.13.})$$

Por tanto, se redondea el número de baterías conectadas en serie a **1 batería**.

Finalmente, para calcular el número total de baterías necesarias se multiplican los dos valores, por lo que el total será de **76 baterías**.

5.10.2. Inversor (convertidor DC/AC)

Para saber cuántos sectores de paneles se necesitarán, se calcula cuántos inversores serán necesarios en esta instalación. Se utiliza la siguiente ecuación para el dimensionado del inversor (66):

$$P_{invtot} = \frac{P}{\eta_{inv}} = \frac{1635350 \text{ W}}{0,95} = 1721421,05 \text{ W} \quad (\text{Ec.14.})$$

Donde:

- P_{invtot} es la potencia total necesaria para los inversores
- P es la potencia total consumida por el sistema
- η_{inv} es el rendimiento del inversor, establecido en un 95%

Como era de esperar, al ser un campo fotovoltaico tan grande, la potencia necesaria para el inversor es muy grande. Es por esto por lo que se necesitarán varios inversores. El inversor seleccionado es el Sunny Boy 5000-US de la marca SMA. Este inversor dispone de sistema de seguimiento MPPT.

Su ficha técnica estará disponible en el Anexo A3. Primero se comprueba que el inversor pueda trabajar con tensiones provenientes de los módulos fotovoltaicos de 400 V. Como se puede observar en la ficha técnica, este trabaja con tensiones de hasta 480 V. Sabiendo esto y que la potencia de entrada máxima del inversor es de 6250 W se pasa a calcular cuántos inversores se necesitarán.

$$N_{inv} = \frac{P_{invtot}}{P_{inv}} = \frac{1721421,05 \text{ W}}{6250 \text{ W}} = 275,43 \quad (\text{Ec.15.})$$

Se establece por tanto el número mínimo de inversores necesarios en **276**.

5.10.3. Sistema de gestión de energía (EMS)

El sistema para la gestión de energía escogido es el Sunny Island 6048-US de la marca SMA. Este es compatible con los inversores escogidos. Su ficha técnica estará disponible en el anexo A4. El Sunny Island 6048-US es un Inversor bidireccional para sistemas aislados. Su función es abastecer a las cargas y cargar las baterías cuando la producción sea mayor que el consumo. El Sunny Island monitoriza óptimamente el componente más sensible de sistemas aislados, la batería, y la aprovecha al máximo ya que cuenta con una regulación de carga inteligente e incorpora una protección segura contra las descargas profundas. (67)

Admite hasta una tensión de 240 V CA en las cargas y una corriente proveniente de las baterías de hasta 140 A.

Este equipo admite una potencia de 216 kW y se sabe que las cargas del alumbrado público de la ciudad consumen una potencia de 1635 kW. Por tanto, se calcula cuántos Sunny Island se necesitarán.

$$N_{SI} = \frac{P_{AC}}{P_{SI}} = \frac{1635 \text{ kW}}{216 \text{ kW}} = 7,57 \quad (\text{Ec.16.})$$

Por tanto, se necesitarán **8 inversores Sunny Island 6048-US**.

La imagen siguiente se ha extraído del folleto de características del Sunny Island y refleja muy acertadamente su función.

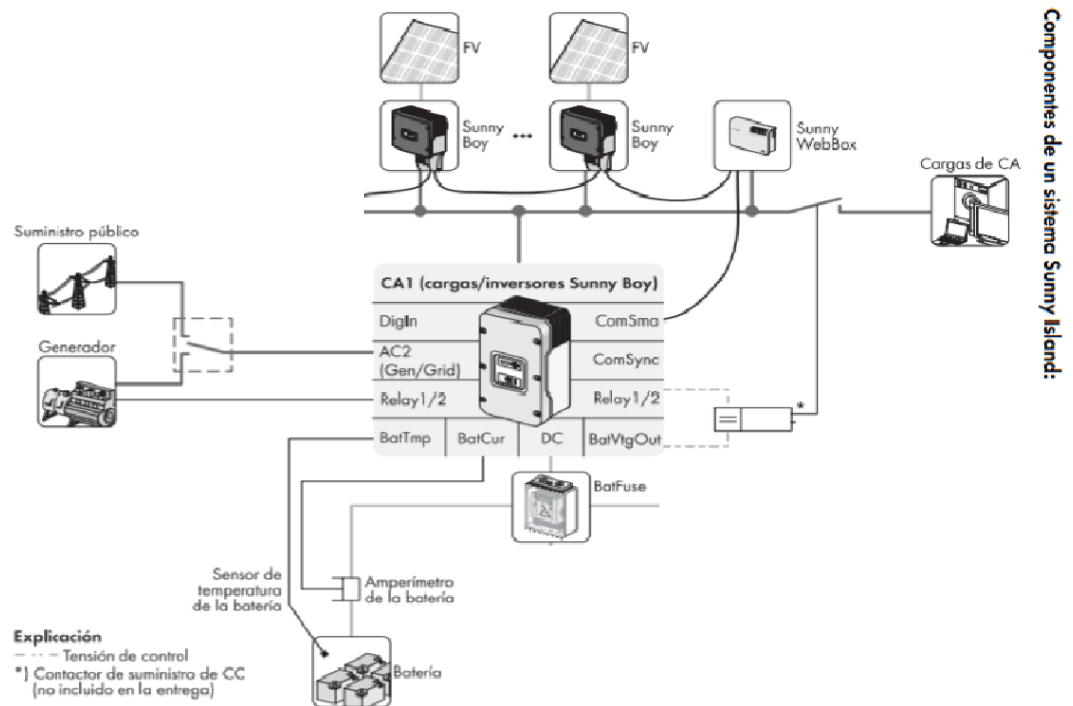


Figura 19. Esquema del funcionamiento del EMS (Fuente: Sma.com)

Como se puede observar, el Sunny Island se conecta a las baterías y al bus de la alimentación en corriente alterna que a su vez está conectado a los inversores (Sunny Boy) provenientes de los paneles fotovoltaicos. También tiene una entrada del suministro público por si hiciera falta. A partir del esquema se sabe que faltan algunos elementos por determinar:

- Equipo de monitorización de instalaciones
- Fusible para las baterías
- Sensor de temperatura de las baterías

5.10.4. Equipo de monitorización

Se usará el equipo de monitorización Sunny WebBox ya que es compatible con el sistema propuesto. Este equipo se conecta directamente al ordenador del usuario que tendrá acceso a la información referente al estado de la instalación. Se necesitará un Sunny WebBox en este caso.

5.10.5. Fusible y sensor de temperatura de las baterías

Con el objetivo de garantizar la seguridad de las baterías se colocará un fusible Neozed Siemens al final de cada rama de baterías. La intensidad nominal de los fusibles será de 25 A de acuerdo con la

intensidad máxima de descarga de las baterías (22,49 A). Se necesitará un fusible para cada subsistema de baterías



Figura 20. Fusible que se utilizará (Fuente: Siemens.com)

El sensor de temperatura seleccionado será el Sensor de temperatura Tracer. Se utiliza un sensor de temperatura con el objetivo de alargar la vida de las baterías. Se necesitará un sensor de temperatura para cada subsistema de baterías.



Figura 21. Sensor de temperatura que se utilizará (Fuente: rebacas.com)

5.10.6. Cableado

Una vez establecidos los elementos de la instalación se pasa a presentar el esquema final de la instalación con el objetivo de dimensionar el cableado.

Sabiendo que la instalación tendrá que estar distribuida a lo largo y ancho de la superficie de la ciudad dada su dimensión, se establece que los módulos fotovoltaicos se dividirán en sectores. Estos sectores deberán tener todos 12 módulos conectados en serie y el número de módulos conectados en paralelo variará. A continuación, se presenta una tabla con las dimensiones y cantidades de los sectores, así

como la potencia que proporcionará cada tipo y la cantidad de inversores que habrá que conectar en paralelo a esos sectores para tolerar esa potencia.

Número de paneles	Sector tipo 1	Sector tipo 2	Total
Npp	5	4	1676
Nps	12	12	12
Cantidad de repeticiones	296	49	345
Npt	17760	2352	20112
Ppv (W)	19095	15276	
Ninv	3	3	1035

Tabla 13. Distribución de los sectores de la instalación (Fuente: propia)

Finalmente, y dada la distribución de la instalación, se establece el número de inversores necesarios en **1035**.

También se sabe que se necesitarán 8 inversores Sunny Island por lo que se conectarán a 8 subsistemas de baterías. Se calcula a continuación la cantidad de baterías que tendrá cada subsistema.

Número de baterías	Subsistema tipo 1	Subsistema tipo 2	Total
Nbp	10	9	76
Nbs	1	1	1
Cantidad de repeticiones	4	4	8
Nbt	40	36	76

Tabla 14. Distribución de los subsistemas de baterías (Fuente: propia)

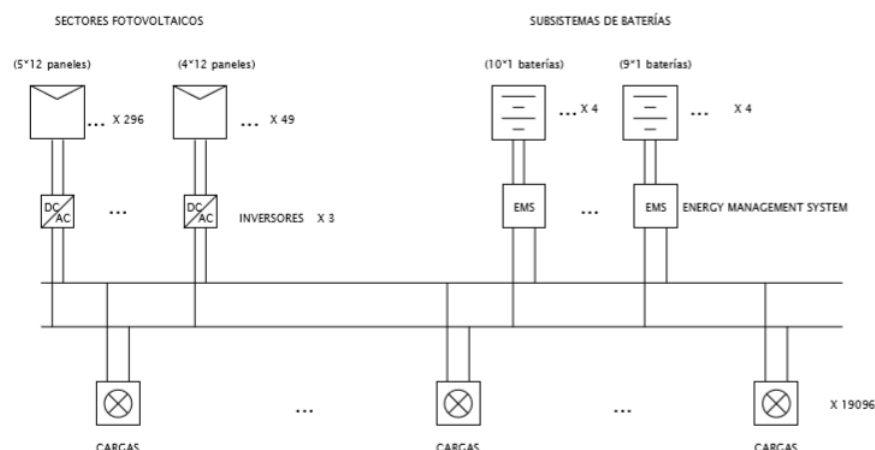


Figura 22. Esquema del funcionamiento de la Microred final (Fuente: propia)

Se deberá dimensionar la sección del cableado necesario para el correcto funcionamiento de esta distribución.

Para el dimensionado de la sección del cableado se deben cumplir varias condiciones:

- Las máximas caídas de tensión para cada tramo establecidas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)
- Las temperaturas máximas admisibles serán 70°C para aislamientos termoplásticos y 90°C para termoestables
- La corriente de cortocircuito no deberá sobrepasar las temperaturas máximas admisibles
- La corriente máxima que pase por el cableado debe ser el valor de la I_{sc} de los paneles
- En todos los tramos de la instalación deberá multiplicarse el valor de la corriente por 1,25 (según la ITC-BT-40 del REBT) para asegurar que el cableado trabaje a menos del 80% de su capacidad

Se deben cumplir estos estándares con el objetivo de que no haya ni una caída de tensión excesiva ni un aumento de la temperatura en el cableado.

El tipo de cableado que se utilizará será con conductor de cobre ya que en las fichas técnicas de los elementos seleccionados se manifiesta la compatibilidad de éstos con el cableado de cobre. Por tanto, para calcular la sección de cada tramo se tendrá en cuenta la conductividad del cobre que es de $\sigma = 59,5 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

El cable seleccionado es el RZ1-K (AS) ya que es un cable no propagador de incendios con conductor de cobre, aislamiento de polietileno reticulado (XPLE) y cubierta de poliolefina termoplástica. Este último hecho se debe tener en cuenta a la hora de la instalación ya que la temperatura máxima de trabajo para cables con aislamiento termoplástico es de 70°C.

5.10.6.1. Cableado hasta el bus de alimentación de las cargas

Dicho esto, y habiendo consultado el REBT, se comienza a calcular la sección que debe tener cada tramo del cableado. A continuación, se calculará el cableado hasta el bus de alimentación de AC y después se explicará cómo se calculará el resto del cableado.

Para comenzar se calculan las corrientes que pasan por el cableado. Considerando un factor de seguridad del 20%. (66)

$$I_{\text{paneles-inversor}} (\text{sector tipo 1}) = 1,2 \cdot n_{pp} \cdot I_{mp} = 1,2 \cdot 5 \cdot 9,83 = 58,98 \text{ A} \quad (\text{Ec.17.})$$

$$I_{\text{paneles-inversor}} (\text{sector tipo 2}) = 1,2 \cdot n_{pp} \cdot I_{mp} = 1,2 \cdot 4 \cdot 9,83 = 47,184 \text{ A} \quad (\text{Ec.18.})$$

$$I_{\text{inversores-Bus alimentación AC}} (\text{sector tipo 1}) = 1,2 \cdot \frac{P_{PV} \cdot \eta_{inv}}{V_{AC}} = 1,2 \cdot \frac{20100 \cdot 0,95}{230} = 99,63 \text{ A} \quad (\text{Ec.19.})$$

$$I_{\text{inversores-Bus alimentación AC}} (\text{sector tipo 2}) = 1,2 \cdot \frac{P_{PV} \cdot \eta_{inv}}{V_{AC}} = 1,2 \cdot \frac{16080 \cdot 0,95}{230} = 79,7 \text{ A} \quad (\text{Ec.20.})$$

$$I_{\text{baterías-Sunny Island}} (\text{subsis. tipo 1}) = 1,2 \cdot I_{descarga} \cdot 10 = 1,2 \cdot 22,49 \cdot 10 = 269,88 \text{ A} \quad (\text{Ec.21.})$$

$$I_{\text{baterías-Sunny Island}} (\text{subsis. tipo 2}) = 1,2 \cdot I_{descarga} \cdot 9 = 1,2 \cdot 22,49 \cdot 9 = 242,9 \text{ A} \quad (\text{Ec.22.})$$

$$I_{\text{Sunny Island-Bus alimentación AC}} = 1,2 \cdot \frac{P_{bat} \cdot \eta_{SI}}{V_{AC}} = 1,2 \cdot \frac{10795,2 \cdot 0,95}{230} = 53,5 \text{ A} \quad (\text{Ec.23.})$$

Sabiendo las corrientes, se pasa a establecer la caída de tensión máxima de cada tramo del cableado, regulada también por el REBT y la longitud de cada tramo.

Tramo	Vnom	c.d.t (%)	U (teniendo en cuenta la c.d.t) (V)	I (A)	L(m)
Paneles – inversor (Sector tipo 1)	400	5	20	58,98	70

Paneles – inversor (Sector tipo 2)	400	5	20	47,184	70
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 1)	230	1,5	3,45	99,63	20
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 2)	230	1,5	3,45	79,7	20
Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 1)	48	2	0,96	269,88	11
Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 2)	48	2	0,96	242,9	11
Sunny Island – Bus alimentación AC	230	5	12	53,5	45

Tabla 15. Tabla que muestra la U, I y L de cada tramo del cableado (Fuente: propia)

Habiendo establecido todos los valores, y la conductividad del cobre ($\sigma = 59,5 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$), se llega al objetivo final que es el de calcular la sección (en mm^2) de cada tramo del cableado y se hará con la siguiente ecuación (66).

$$S = 2 \cdot \frac{L * I}{\sigma * U} \quad (\text{Ec.24.})$$

Lógicamente, las secciones que se calcularán no serán números naturales ni se corresponderán con cables disponibles en el mercado. Es por esto por lo que la sección real de los cables será la sección normalizada por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Tramo	S (mm^2)	S normalizada (según REBT) (mm^2)
Paneles – inversor (Sector tipo 1)	6,94	10
Paneles – inversor (Sector tipo 2)	5,55	6
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 1)	19,41	25
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 2)	15,53	16
Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 1)	103,94	120

Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 2)	93,55	95
Sunny Island – Bus alimentación AC	7,024	10

Tabla 16. Tabla que muestra la sección y la sección normalizada de cada tramo del cableado (Fuente: propia)

Una vez calculadas estas secciones se acude a la ITC-BT-19 donde se establece la intensidad máxima admisible para cada sección en la tabla A.52-1 bis. Obedeciendo esta instrucción técnica, y la ITC-BT-06 que establece que las intensidades máximas del cableado expuesto al sol se deben multiplicar por un factor de corrección del 0,9, se pasa a calcular si el cableado dimensionado cumple las condiciones requeridas.

Tramo	I máxima admisible (A)	I dimensionada (A)
Paneles – inversor (Sector tipo 1)	$I_{m\acute{a}x} = 76 \cdot 0,9 = 68,4$	58,98
Paneles – inversor (Sector tipo 2)	$I_{m\acute{a}x} = 57 \cdot 0,9 = 51,3$	47,184
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 1)	$I_{m\acute{a}x} = 123 \cdot 0,9 = 110,7$	99,63
Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 2)	$I_{m\acute{a}x} = 105 \cdot 0,9 = 94,5$	79,7
Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 1)	$I_{m\acute{a}x} = 348 \cdot 0,9 = 313,2$	269,88
Baterías – Sunny Island (subsistema tipo 2)	$I_{m\acute{a}x} = 296 \cdot 0,9 = 266,4$	242,9
Sunny Island – Bus alimentación AC	$I_{m\acute{a}x} = 76 \cdot 0,9 = 68,4$	53,5

Tabla 17. Criterio de las Intensidades máximas admisibles (Fuente: propia)

Como se puede observar, el cableado dimensionado cumple con las condiciones requeridas ya que las intensidades máximas admisibles son siempre mayores que las dimensionadas.

5.10.6.2. Cableado conectado a las cargas

En este caso se han tenido que hacer varias hipótesis ya que no se dispone de un mapa que determine cómo están distribuidas las cargas en la ciudad. Es por esto, y para facilitar los cálculos, por lo que se ha decidido dividir la ciudad en zonas y que en cada zona haya un tipo de lámpara. Otra de las hipótesis que se ha decidido adoptar es la de que en las luminarias de hoy en día todas las cargas son resistivas $\cos(\phi)=1$ y por eso se ha obviado este factor de las ecuaciones. Por tanto, la fórmula para calcular la corriente en cada tramo será:

$$I = \frac{P_{cargas}}{V_{AC}} \quad (\text{Ec.25.})$$

Donde:

- P_{cargas} es la potencia demandada por las cargas
- V_{AC} es la tensión de línea de las cargas (230)

Después de barajar las opciones se ha decidido plantear el sistema como se explica en la siguiente tabla. En la primera columna se encuentra el tipo de lámpara que se estudia, en la segunda columna la cantidad de lámparas que hay en cada zona (se entiende por zona la zona de la ciudad en la que se encuentra este grupo de lámparas), en la tercera columna se establece el consumo de las cargas (en Wh/día) estableciendo el horario de funcionamiento en 11,8 horas ya que es la media anual. En la cuarta columna se encuentra el consumo de las cargas añadiendo las pérdidas de la instalación solar fotovoltaica (Ah/día). En la quinta columna se establece el número de paneles en paralelo que se necesitarán para cubrir ese consumo y en las dos últimas columnas se establece el tipo y la cantidad de sectores fotovoltaicos que se ocuparán de cubrir ese consumo y que por tanto se encontrarán cerca de la zona en cuestión. Se recuerda que los sectores de tipo 1 tienen 5 paneles en paralelo y los sectores de tipo 2 tienen 4 paneles en paralelo. También se recuerda que en el capítulo 5.10.6 se ha establecido que el total de sectores de tipo 1 sea 296 y el total de sectores de tipo 2 sea 49.

Tipo de lámparas en la zona	Número de lámparas	Consumo cargas (Wh/día)	Consumo cargas con pérdidas (Ah/día)	Paneles paralelo	Número de sector fotovoltaico tipo 1	Número de sector fotovoltaico tipo 2
Vapor de mercurio	126	267.388,0	817,0	20,3	4,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	0	35,0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0

Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Vapor de sodio de alta presión	1335	1.612.591,4	5.613,5	139,6	28,0	0
Fluorescente	1501	471.410,0	1.641,0	40,8	8,0	0
Halogenuros metálicos	746	781.514,0	2.720,5	67,6	14,0	0
LED<3500 K	1255	627.996,0	2.186,1	54,4	0	14,0
LED>3500 K	1992	992.498,0	3.454,9	85,9	17,0	0
Otras	123	26.786,0	93,2	2,3	1,0	0
TOTAL	19096				296	49

Tabla 18. Distribución hipotética de las cargas y los sectores fotovoltaicos (Fuente: propia)

En la siguiente tabla se establece la potencia que consume cada zona, la intensidad que deberá pasar por cada tramo de cableado (aplicando la ecuación 25) y finalmente la sección de cada tramo. Dado que cada zona de cargas tiene al menos un sector fotovoltaico asignado, se hipotetiza que todos los tramos sean de la misma longitud (40 metros) y que la caída de tensión en todos los tramos sea de un 1%. Se establecen así las secciones del cableado.

Tipo de lámparas en la zona	Potencia consumida (W)	I (A)	c.d.t (%)	U (teniendo en cuenta la c.d.t) (V)	L(m)	S (mm ²)	S normalizada (según REBT) (mm ²)
Vapor de mercurio	22.660,0	98,5	1	2,3	40	57,59400168	70
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400

Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Vapor de sodio de alta presión	136.660,3	594,2	1	2,3	40	347,3439083	400
Fluorescente	136.660,3	594,2	1	2,3	40	101,5392925	120
Halogenuros metálicos	136.660,3	594,2	1	2,3	40	168,3341011	185
LED<3500 K	136.660,3	594,2	1	2,3	40	135,2671125	150
LED>3500 K	136.660,3	594,2	1	2,3	40	213,7789709	240
Otras	136.660,3	594,2	1	2,3	40	5,769566806	6

Tabla 19. Sección del cableado que llega a las cargas (Fuente: propia)

5.10.7. Protecciones

En una instalación solar fotovoltaica se necesitan protecciones para el correcto funcionamiento del sistema. Todas las fichas técnicas de las protecciones estarán disponibles en el anexo A5. En el caso de esta instalación se hablará de equipos de protecciones que contienen fusibles en su interior (68).

El primer equipo de protección que se tiene que tener en cuenta es el del grupo de paneles (también llamado de nivel 1). Este equipo protege eléctricamente los paneles de posibles sobretensiones y sobreintensidades y viene provisto de un interruptor de corte de carga que permite cortar la línea de un grupo de paneles y así poder realizar tareas correctivas. El equipo se instala después de los paneles. El equipo seleccionado es el UNF1-63-12S-CIL10-ST de la marca Cahors. En los equipos de Nivel 1, se pueden instalar elementos (el lector Individual y el lector colectivo) que nos permitan conocer la generación de energía en todo momento.



Figura 23. Equipo de protección nivel 1 (Fuente: Cahors)

El segundo equipo de protección es el del inversor (nivel 2). Este sirve para proteger el inversor de sobretensiones o sobreintensidades y también está provisto de un interruptor de corte de carga. Este se instala antes del inversor. El equipo seleccionado es el ARF2-86-315A-8S-CIL40 de la marca Cahors. Los equipos de Nivel 2, por sus características pueden ubicar los lectores colectivos en su equipo, y permiten leer distintas generaciones de grupo de Paneles desde la misma pantalla o comunicándose a un ordenador.



Figura 24. Equipo de protección nivel 2 (Fuente: Cahors)

En cuanto a las protecciones en la parte de corriente alterna (del inversor a las cargas) se colocará después del inversor un equipo PCA (equipo de protección a la salida del inversor) y después un equipo CIA (de protección y medida). El equipo PCA escogido es el UNCA-200A-RA de la marca Cahors y el equipo CIA escogido es el IF-1MC / IF-1TC / IF-1TMIA de la marca Cahors.



Figura 25. Equipos de protección CA (Fuente: Cahors)

El equipo PCA estará compuesto por un interruptor magnetotérmico de 630 A y un interruptor diferencial con rearme automático de 630 A y 300 mA de sensibilidad.

El equipo CIA estará compuesto por un elemento de medida como es el contador. El contador que se utilizará permitirá la comunicación con él a distancia gracias a un módem, cable Ethernet o Fibra Óptica. Además, presentará un interruptor seccionador tripolar de 630 A y unos fusibles para proteger cada línea.

5.10.8. Resumen de la instalación final

En este apartado se presentará la información del dimensionado del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès de forma concisa y clara.

5.10.8.1. Tabla-resumen de los valores más significativos de la instalación de ESF

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Vnom	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Consumo (Wh/día)	22894900	21259550	19624200	17988850	16353500	14718150	14718150	16353500	19624200	21259550	22894900	24530250
Consumos/pérdidas(Ah/día)	57237	53149	49061	44972	40884	36795	36795	40884	49061	53149	57237	61326
Consumo c/pérdidas (Ah/día)	79723	74028	68334	62639	56945	51250	51250	56945	68334	74028	79723	85417
Rad. (MJ/m2)	7,812	11,16	16,848	19,728	23,976	26,64	26,532	22,68	17,424	12,708	8,46	6,84
HSP	2,88	3,67	4,75	4,69	4,88	5,08	5,40	5,45	5,19	4,61	3,45	2,75
Emod (Ah/día)	26,29	33,57	43,43	42,85	44,64	46,42	49,40	49,81	47,41	42,17	31,50	25,14
Npp	3032,1	2205,5	1573,3	1461,7	1275,6	1104,0	1037,5	1143,3	1441,2	1755,7	2530,6	3397,1
Nps	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Paneles instalados	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112	20112

Tabla 20. Tabla-resumen de la Instalación Solar Fotovoltaica (Fuente: propia)

5.10.8.2. Déficit y Superávit energético mes a mes producido por el campo de captación

A continuación, se presentará una tabla del déficit y el superávit de energía producidos cada mes por el campo de paneles fotovoltaicos.

Mes	Déficit/Superávit de energía (Ah/día)	Días autonomía	PD,máx	Capacidad baterías (Ah)
Enero	-35655,29	4	0,8	398613,33

Febrero	-17771,97	4	0,8	370140,95
Marzo	4462,36	4	0,8	341668,57
Abril	9183,22	4	0,8	313196,19
Mayo	17873,42	4	0,8	284723,81
Junio	26552,10	4	0,8	256251,42
Julio	31544,01	4	0,8	256251,42
Agosto	26532,22	4	0,8	284723,81
Septiembre	11133,60	4	0,8	341668,57
Octubre	-3359,37	4	0,8	370140,95
Noviembre	-26923,05	4	0,8	398613,33
Diciembre	-43275,38	4	0,8	427085,71

Tabla 21. Déficit/superávit de energía y factores del sistema de almacenamiento (Fuente: propia)

Las baterías de esta instalación están dimensionadas tanto para cuando haya déficit de energía como para el supuesto caso de los días de autonomía del campo fotovoltaico.

5.10.9. Emplazamiento de la instalación

Una vez determinados todos los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica se pasa a establecer donde se asentarán los elementos con respecto a la ciudad.

5.10.9.1. Superficies

Antes de calcular la superficie que ocupa cada elemento que forma parte de la instalación se debe calcular la distancia que tiene que haber entre los paneles en paralelo para que no se hagan sombra los unos a los otros.

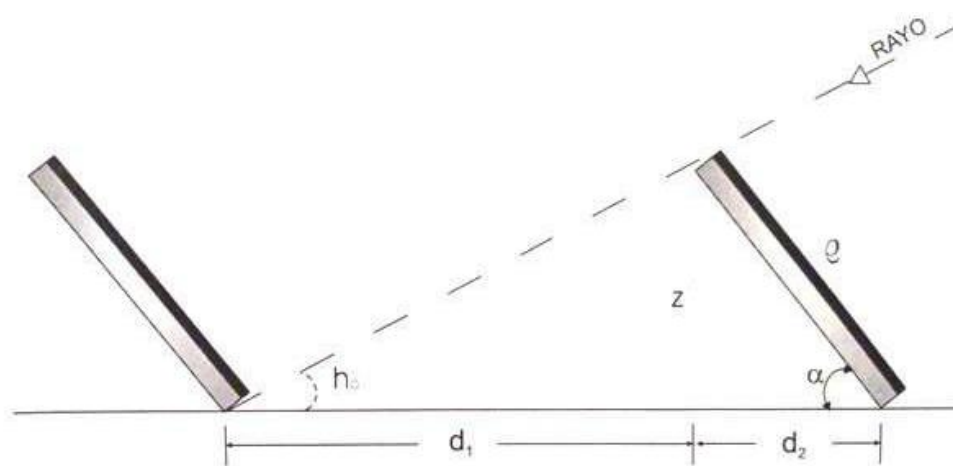


Figura 26. Distancia entre los paneles (Fuente: fotovoltaica.com)

Se sabe que la inclinación de los paneles es de 60° . Por tanto, haciendo trigonometría simple se establece que la distancia entre los paneles paralelos debe ser de 1,72 m.

- Paneles solares

Analizando la ficha de características y teniendo en cuenta el ángulo de inclinación de los paneles cada panel cubre una superficie de $1,016\text{m} * (0,843+1,72)\text{m} = 2,60\text{ m}^2$.

- Sector fotovoltaico tipo 1

En estos sectores se necesitarán 5 paneles conectados en paralelo y 12 paneles conectados en serie. Por tanto, la superficie cubierta por cada uno de estos sectores será de 156 m^2 .

- Sector fotovoltaico tipo 2

En estos sectores se necesitarán 4 paneles conectados en paralelo y 12 paneles conectados en serie. Por tanto, la superficie cubierta por cada uno de estos sectores será de $124,8\text{ m}^2$.

- Baterías

Analizando la ficha de características se sabe que cada batería ocupa una superficie de $0,1247\text{ m}^2$.

- Subsistema de baterías tipo 1

En estos subsistemas se conectan 10 baterías en paralelo por lo que la superficie cubierta será de $1,247\text{ m}^2$.

- Subsistema de baterías tipo 2

En estos subsistemas se conectan 9 baterías en paralelo por lo que la superficie cubierta será de $1,223\text{ m}^2$.

- Inversores (DC/AC)

Analizando la ficha de características se sabe que cada inversor ocupa una superficie de $0,1483\text{ m}^2$.

- Sunny Island (EMS)

Analizando la ficha de características se sabe que cada inversor bidireccional ocupa una superficie de $0,109745\text{ m}^2$.

5.10.9.2. Localización

Como se ha explicado antes, dada la distribución de las cargas a lo largo y ancho de toda la ciudad la instalación dimensionada se tendrá que distribuir por la ciudad. Después de haber calculado la superficie que ocupa cada elemento se concluye que lo que más ocupará con diferencia serán los paneles de captación. Por esto y porque tienen la necesidad de estar expuestos al sol, serán los más difíciles de emplazar. Se presentan a continuación diferentes opciones para el emplazamiento de los paneles.

5.10.9.2.1 Tejado de edificios públicos

La opción más viable en este caso es que se instalasen los paneles en los tejados de los edificios que son propiedad del ayuntamiento, como se ve en la figura siguiente.



Figura 27. Instalación solar en un tejado (Fuente: framepool.com)

Estos edificios pueden ser: el Ayuntamiento, la biblioteca pública, el gimnasio público, los colegios, los centros sociales y el teatro entre otros.

5.10.9.2.2 Tejados de aparcamiento público

Otra opción muy práctica sería instalar los paneles en los tejados del aparcamiento público ya que se proporciona sombra para los coches a la vez que se absorbe la radiación solar mediante los paneles.



Figura 28. Instalación solar en el tejado de un aparcamiento (Fuente: energiareno.com)

Según el ayuntamiento de Sant Cugat, en la ciudad existen 9 aparcamientos públicos al aire libre en la ciudad (69).

5.10.9.2.3 Al nivel del suelo

La última opción que se baraja es la de instalar alguno de los sectores en algún espacio al nivel del suelo. En Sant Cugat del Vallès se dispone de un espacio muy cerca de la ciudad que se muestra en la siguiente figura. Con tal de establecer algunos de los sectores de paneles fotovoltaicos en esta localización se deberán obtener las licencias correspondientes.



Figura 29. Espacio para la instalación del sector con respecto a la ciudad (Fuente: Google Maps)



Figura 30. Ampliación de la figura anterior (Fuente: Google Maps)

6. Vías alternativas para avanzar hacia una Smart City

En el capítulo anterior se ha dimensionado el campo de captación de energía solar fotovoltaica necesario para el alumbrado público de Sant Cugat del Vallès. En este se plantearán proyectos que se podrían llevar a cabo en un futuro para que la ciudad siga avanzando hacia ser completamente “Smart”.

6.1. Optimización del proyecto planteado

Es cierto que el proyecto que se ha planteado con anterioridad tendría un impacto ecológico muy favorable para la ciudad. Sin embargo, la energía solar fotovoltaica se utiliza desde hace años y no ha evolucionado mucho en la última década (70). En la siguiente figura se aprecia la evolución exponencial de la utilización de las instalaciones fotovoltaicas mundiales anuales entre el año 2000 y 2014 (en el gráfico se refleja la potencia fotovoltaica instalada). A pesar de ello, este crecimiento se debe al abaratamiento de los módulos fotovoltaicos y no a la evolución de la tecnología.



Figura 31. Evolución de la energía solar fotovoltaica (Fuente: Público.es)

Es por esto por lo que en este apartado se ha decidido plantear modificaciones para la actualización y la mejora del funcionamiento de estas instalaciones. Se evaluará cada idea y su impacto en la ciudad por separado y finalmente se evaluará el impacto de la instalación agrupando las modificaciones.

6.1.1. Automatización

Sabiendo que una Smart City es tecnológica además de respetuosa con el medio ambiente, sería lógico intentar automatizar de alguna manera el sistema del que ya se dispone con tal de hacerlo en cierta medida más tecnológico.

Se podría automatizar el proyecto expandiendo una tecnología que ya está implantada, como prototipo, en 4 farolas de la ciudad de Sant Cugat del Vallès. Esta se basa en un grupo de sensores que detectan si hay peatones en las aceras y la farola se enciende únicamente si los hay. Obviamente, esto reduciría el consumo de las farolas destinadas a la iluminación de las aceras en un gran porcentaje.

Gracias a los datos proporcionados por el ayuntamiento de Sant Cugat, se sabe que el total de puntos de luz utilizados para alumbrar las aceras en la ciudad es de 3247.

6.1.1.1. Sensor

Los sensores son dispositivos que detectan o miden un cambio en el ambiente, lo registran, lo indican o responden a él.

En el caso del alumbrado de la ciudad se utilizará el sensor VL53L1X de la marca ST (71). Este es un sensor de proximidad que en vez de usar la tecnología infrarroja (que solo mide la intensidad de la señal recibida y puede verse afectada por la reflectividad del objeto) utiliza el tiempo de reflexión de los fotones emitidos por el sensor para determinar la distancia precisa del objeto (en este caso el peatón).



Figura 32. Sensor para el alumbrado (Fuente: st.com)

Una de las aplicaciones que se especifica en su ficha de características (Anexo A6) es la de “Smart lighting” y se detalla la detección de personas como una de sus funciones principales.

Table 7. Typical performances in ambient light with long distance mode

Parameter	Target reflectance	Dark	50 kcps/SPAD	200 kcps/SPAD
Max. distance (cm)	White 88 %	360	166	73
	Grey 54 %	340	154	69
	Grey 17 %	170	114	68
Ranging error (mm)		± 20	± 25	± 25

Figura 33. Rango de distancias del sensor (Fuente: st.com)

Se observa que la distancia máxima de detección del sensor es de 1,66 m en un ambiente de 50 kcps/spad (kilo counts per second/single photon avalanche diode). Este se refiere a la detección del sensor cuando la iluminación es la de un día soleado y una ventana separa al sensor de su objetivo. Este ambiente no es aplicable a este proyecto ya que la iluminación de una ciudad trabaja de noche.

También se aprecia que la distancia máxima de detección del sensor es de 0,73 m en un ambiente de 200 kcps/spad (kilo counts per second/single photon avalanche diode). Este se refiere a la detección del sensor cuando la iluminación es la de un día soleado, una ventana separa al sensor de su objetivo y además hay luz incidente directamente en el sensor. Este ambiente no es aplicable a este proyecto ya que la iluminación de una ciudad trabaja de noche.

Finalmente, y como dato útil a extraer de esta tabla, se observa que este sensor tiene un rango de alcance de 3,6 metros en una luz ambiente. Este es el ambiente que se aplica en el caso del proyecto de Sant Cugat del Vallès.

Dado que el número total de puntos de luz en las aceras de la ciudad es de 3247 se necesitará este número de sensores.

6.1.1.2. Impacto de la alteración propuesta

Una vez determinado el sensor que se utilizará se pasa a analizar el impacto que esta implantación tendría en el consumo del alumbrado de la ciudad. Para establecer los parámetros base se determina que desde la hora del encendido del alumbrado hasta la 1 de la mañana las farolas estarán encendidas todo el tiempo. A partir de la 1 de la mañana y hasta el apagado del alumbrado se estima el flujo de peatones en un 5% del habitual, pero, con el objetivo de hacer una cálculos conservadores, se establecerá que el flujo de peatones es del 10% y por tanto las horas de iluminación de los puntos de luz se establecen también en un 10% de las normales a partir de la 1 de la mañana.

Con ayuda de la hoja de cálculos se determina la diferencia en el consumo del alumbrado instalando los sensores en las farolas de las aceras de la ciudad.

Primero se determina el consumo de las farolas de las aceras instaladas hoy en día y después se reducen las horas de funcionamiento. Haciendo esto se llega a una variación en el consumo inicial que lleva a un consumo C'_{req} (teniendo en cuenta las pérdidas) diferente. En las tablas siguientes se presenta la media anual del alumbrado de las aceras sin sensores y con sensores.

	C'req alumbrado aceras sin sensores (Ah/día)		C'req alumbrado aceras con sensores (Ah/día)
Media anual	5658,69	Media anual	2897,09

Tablas 22 y 23. Consumo del alumbrado de las aceras con sensores y sin sensores (Fuente: propia)

Finalmente se llega al gráfico que muestra el consumo anual (teniendo en cuenta las pérdidas) C'_{req} del alumbrado de las aceras.

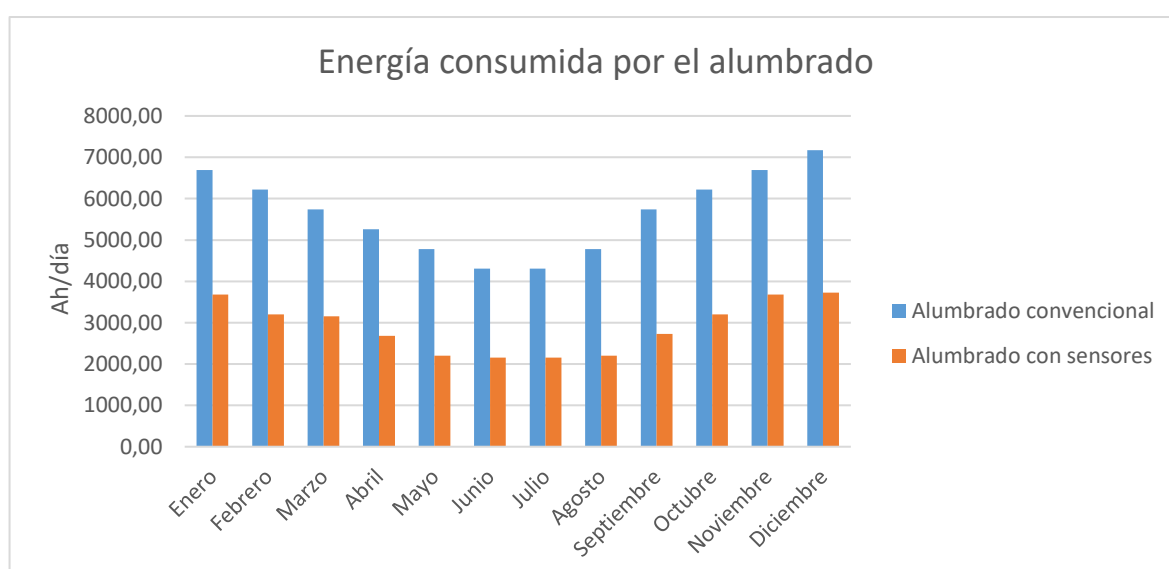


Figura 34. Gráfico que muestra la diferencia de consumo cuando se instalan los sensores (Fuente: propia)

Como se puede observar, la reducción del consumo es muy significativa en cuanto al alumbrado de las aceras se refiere. Ahora se establecerá la diferencia entre el consumo total del alumbrado convencional y el consumo total cuando los 3247 puntos de luz tienen los sensores. En las tablas siguientes se presenta la media anual del alumbrado **total** sin sensores y con sensores.

	C'req alumbrado total sin sensores (Ah/día)		C'req1 alumbrado total con sensores (Ah/día)
Media anual	67384,63	Media anual	61725,95

Tablas 24 y 25. Consumo del alumbrado de las aceras con sensores y sin sensores (Fuente: propia)

Finalmente se llega al gráfico que muestra el consumo anual (teniendo en cuenta las pérdidas) C'_{req} del alumbrado total de la ciudad.

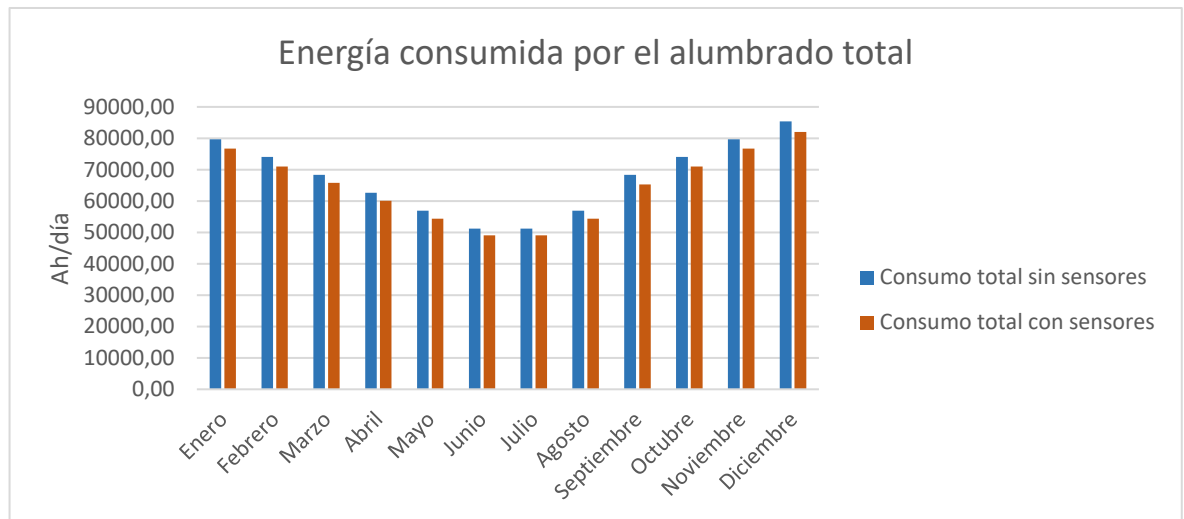


Figura 35. Gráfico que muestra la diferencia de consumo total cuando se instalan los sensores (Fuente: propia)

Como se puede apreciar, la diferencia en el consumo total del alumbrado no es tan notable pero el cambio es significativo para ser una medida tan simple y realista.

6.1.2. Sustitución de la tecnología actual por tecnología LED

Otra medida que se podría implementar con tal de reducir el consumo inicial del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès es la de sustituir todos los puntos de luz que no sean LED por tecnología LED. Se ha decidido implementar esta medida porque, como se observa en las tablas 1 y 2, la tecnología LED es la que menos consume de las tecnologías conocidas.

Un LED (light-emitting-diode) es una fuente de luz que se utilizó por primera vez en 1962. Las ventajas de esta tecnología incluyen el consumo bajo, el hecho de que es una tecnología ideal en aplicaciones sujetas a frecuentes ciclos de encendido y apagado (como el alumbrado de una ciudad) el desgaste lento de las lámparas y que tienen una vida útil relativamente larga. (72)

6.1.2.1. Lámpara seleccionada

Gracias a la información proporcionada por el ayuntamiento se sabe que se necesitaría una lámpara que proporcionase aproximadamente 7000 lúmenes para satisfacer las necesidades de iluminación de la ciudad. La lámpara LED seleccionada es la Lámpara LED Aventino 60 W Mean Well para alumbrado público ya que su luminosidad es de 7200 lúmenes. Su ficha técnica está disponible en el anexo A7. Según el distribuidor, la lámpara ha sido pensada específicamente para el alumbrado público. Cuenta con una gran conversión de energía y pocos gastos de mantenimiento. (73)



Figura 36. Lámpara LED seleccionada (Fuente: efectoled.com)

6.1.2.2. Impacto de la alteración propuesta

Esta alteración afectará, de nuevo, al consumo inicial de la instalación. El primer paso será determinar qué puntos de luz del alumbrado hay que cambiar. Para esto se acude a la información proporcionada por el ayuntamiento. Se sustituirán todos los puntos de luz que no tengan ya una lámpara LED. En la tabla siguiente se aprecian las tecnologías actuales y sus potencias y las potencias que consumirían cambiándolas por la lámpara LED propuesta (60W).

Cantidad	Tipología actual	Potencia consumida por unidad (W)	Tipología actualizada	Potencia consumida por unidad (W)
126	Vapor de mercurio	179,8	LED Corn E27	60
13353	Vapor de sodio de alta presión	102,4	LED Corn E27	60
1501	Fluorescente	26,6	LED Corn E27	60
746	Halogenuros metálicos	88,8	LED Corn E27	60
1255	LED T<3500 K	42,4	LED T<3500 K	42,4
1992	LED T>=3500 K	42,2	LED T>=3500 K	42,2
123	Otras	18,5	Otras	18,5

Tabla 26. Potencia consumida por el alumbrado actual y el alumbrado con tecnología LED (Fuente: Propia)

Como se puede observar en la tabla anterior, se ha decidido no cambiar las lámparas LED ya instaladas por el ayuntamiento (para evitar el coste añadido) y tampoco las lámparas clasificadas como “otras”

ya que se desconoce su origen y su consumo de potencia es muy bajo. Se observa también que sustituyendo las tecnologías existentes por tecnología LED se llega a una variación en el consumo inicial que lleva a un consumo C'_{req} (teniendo en cuenta las pérdidas) diferente. En las tablas siguientes se presenta la media anual del alumbrado actual y con tecnología LED.

	C'req alumbrado actual (Ah/día)		C'req2 alumbrado Con tecnología LED (Ah/día)
Media anual	67384,63	Media anual	44631,63

Tablas 27 y 28. Consumo del alumbrado actual y con tecnología LED (Fuente: propia)

A continuación, se muestra el gráfico que refleja esta diferencia a lo largo de todo el año. Como se puede apreciar, la diferencia es muy visible.

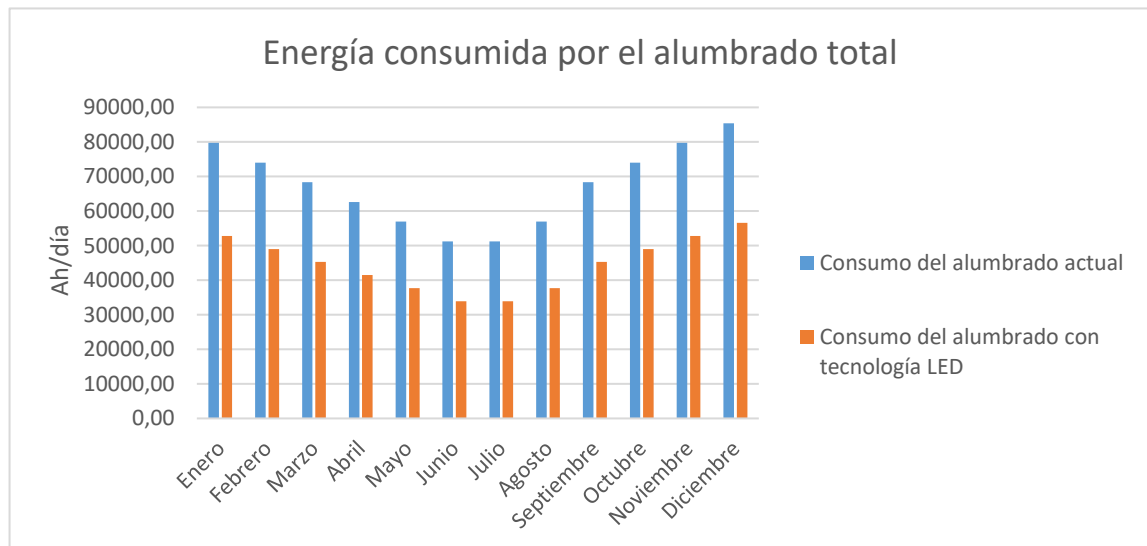


Figura 37. Consumo del alumbrado actual y con tecnología LED (Fuente: propia)

6.1.3. Sistema de almacenamiento

En este proyecto se ha utilizado como sistema de almacenamiento el de las baterías estacionarias. Es sabido en la industria que la eficiencia de estas no es demasiado buena ni duradera (y sin embargo es el método más utilizado para el almacenamiento de la energía) y es por esto por lo que se ha optado por plantear un sistema de almacenamiento alternativo que se podría usar en un futuro en instalaciones más pequeñas.

La instalación que se plantea a continuación es una instalación compuesta por un campo de captación sin baterías. En el lugar de las baterías se propone instalar un sistema de bombeo de agua. Este sistema de bombeo utilizaría la energía producida por los paneles en los periodos de superávit para bombear agua. La idea es que el agua se bombearía desde un pantano a una altura sobre el nivel del mar

(m.s.n.m.) hasta un pantano a m.s.n.m. mayor en el que haya una presa. De esta forma “la energía se almacena en forma de agua” ya que se puede instalar una central hidroeléctrica y abrir la presa para producir energía cuando se desee. Se adjunta un esquema explicativo a continuación.



Figura 38. Sistema de almacenamiento alternativo (Fuente: propia)

Este sistema funcionaría para una instalación solar como la que se ha dimensionado, pero mucho más pequeña ya que tendría que estar toda centralizada en un mismo espacio dado que el sistema de almacenamiento estaría todo en un mismo lugar.

Existe un pantano llamado el pantano de Can Borrell a 6km de la ciudad. Se trata de un pequeño pantano que dispone de una toma en desuso que recoge las aguas de un torrente que fluye por la sierra de Collserola. En cuanto a la vegetación, el entorno del pantano se encuentra dominado por un bosque mediterráneo de encina y pinar mediterráneo de pino blanco.



Figura 39. Pantano de Can Borrell (Fuente: imuntanya.com)

Este pantano se visitó para investigar la viabilidad de un proyecto y se estableció que:

- El pantano es demasiado pequeño para cualquier instalación solar con una superficie de solamente 0,2 hectáreas (74)
- No se dispone de otro cuerpo de agua cerca del pantano en cuestión para el transporte del agua

Es por esto por lo que desarrollar este sistema de almacenamiento conllevaría muchos gastos ya que se tendrían que crear pantanos artificiales para que funcionase correctamente. Se analizarán estos gastos en el apartado de presupuestos.

6.1.3.1. Bomba seleccionada

La bomba que se seleccionaría para este proyecto es la Bomba de achique STERWINS 1000 DW-3.



Figura 40. Bomba de agua seleccionada (Fuente: leroymerlin.es)

Esta bomba es una bomba de achique y trasvase de agua sucia con un caudal máximo de 18000l/h. Su ficha técnica se encuentra en el Anexo A8. Se propone esta bomba como idea inicial. Si el proyecto se llevase a cabo habría que calcular si la bomba es la adecuada.

No se estudiará el impacto de esta alteración propuesta ya que, aunque es un sistema muy interesante, no sería adecuado para la instalación que nos ocupa.

6.1.4. Estudio del impacto de la implementación de las medidas propuestas

En este apartado se estudiará el impacto que tendrían en la instalación solar fotovoltaica las medidas de optimización propuestas más viables si se llevasen a cabo. Primero se calculará el consumo implementando las dos medidas a la vez (sensores y tecnología LED) teniendo en cuenta las pérdidas por conexionado. Seguidamente se calculará el consumo en kWh de este mismo sistema. Con este último consumo se hará un resumen de los datos más significativos de la nueva instalación.

6.1.4.1. Estudio de los consumos teniendo en cuenta las pérdidas por conexionado

En este apartado se comparará el consumo calculado inicialmente con el consumo que surge de implementar las tres medidas comentadas con anterioridad.

Para calcular el consumo de la nueva instalación se empleará la siguiente ecuación.

$$\Delta \text{ Consumo} = (C'_{req} - C'_{req1}) + (C'_{req} - C'_{req2}) \quad (\text{Ec.26.})$$

$$C''_{req} = C'_{req} - \Delta \text{ Consumo} \quad (\text{Ec.27.})$$

Donde:

- Δ Consumo es la diferencia entre el consumo con el que trabaja la instalación original y el consumo con el que trabajaría la instalación optimizada (teniendo en cuenta las pérdidas).
- C'_{req} es el consumo (teniendo en cuenta las pérdidas) calculado para la instalación original
- C'_{req1} es el consumo (teniendo en cuenta las pérdidas) del alumbrado público cuando se instalan los sensores
- C'_{req2} es el consumo (teniendo en cuenta las pérdidas) del alumbrado público cuando se instala la tecnología LED
- C''_{req} es el consumo (teniendo en cuenta las pérdidas) del alumbrado público con el que trabajará la instalación optimizada

Una vez realizados estos cálculos se obtienen los resultados siguientes.

	C'req instalación original (Ah/día)		C''req instalación optimizada (Ah/día)
Media anual	67384,63	Media anual	41870,034

Tablas 29 y 30. Consumo de la instalación original y optimizada (Fuente: propia)

Como se puede apreciar en las tablas anteriores el consumo se ha reducido inmensamente hasta llegar a ser un 62% del consumo original.

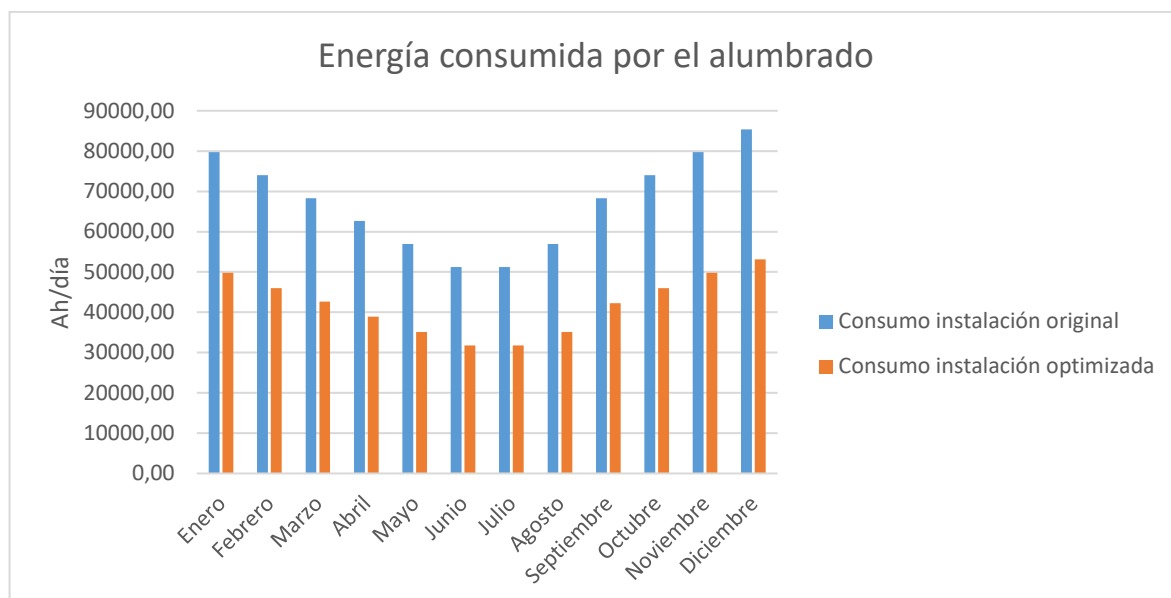


Figura 41. Diferencia de consumos entre la instalación original y la instalación optimizada (Fuente: propia)

6.1.4.2. Comparación del número de elementos

Finalmente se repiten los cálculos del capítulo 5.8 para calcular los elementos necesarios para la instalación optimizada con sensores y tecnologías LED. Se omite la optimización del sistema de almacenamiento hidráulico ya que se considera un proyecto demasiado inviable para la instalación estudiada. A continuación, se presentan los valores más significativos.

	Instalación original	Instalación optimizada
Npp	1676	1042
Nps	12	12
Np totales	20112	12504
Nb	76	48
Ninv	1035	644

Tabla 31. Número de paneles y de baterías de la instalación original y optimizada (Fuente: propia)

Se aprecia una reducción muy significativa en el número de paneles, baterías e inversores necesarios gracias a la reducción en el consumo. En el análisis económico se evaluará si esta reducción en número compensa los gastos creados al hacer tantos cambios.

6.2. Central micro hidroeléctrica Turbulent

Enlazando con el concepto de la energía hidroeléctrica comentado en el capítulo 6.1.3 y continuando con las vías alternativas para avanzar hacia una Smart City se presenta otra idea muy interesante. Esta idea es la central micro hidroeléctrica de la marca Turbulent (75).

Turbulent se inspiró en la naturaleza para desarrollar una central hidroeléctrica descentralizada. Las turbinas se pueden instalar en cualquier río o canal que tenga una diferencia de altura natural de más de 1,5 m. La tecnología que se emplea utiliza estas pequeñas cataratas o rápidos para crear energía y respetando el medio ambiente. Las turbinas generan energía durante las 24 horas del día y son seguras para la fauna del cuerpo de agua. La instalación requiere muy poca obra y no se altera demasiado el medio que la rodea. La ventaja principal de este sistema es que se transforma la energía potencial en cinética forzando al agua a fluir en el vórtice, reduciendo así la necesidad de grandes desniveles de las hidroeléctricas convencionales. Otra de las ventajas de este sistema es que se pueden instalar tantas turbinas como se quiera. La potencia nominal de una turbina varía desde los 5 a los 100kW dependiendo en la velocidad del caudal del agua.

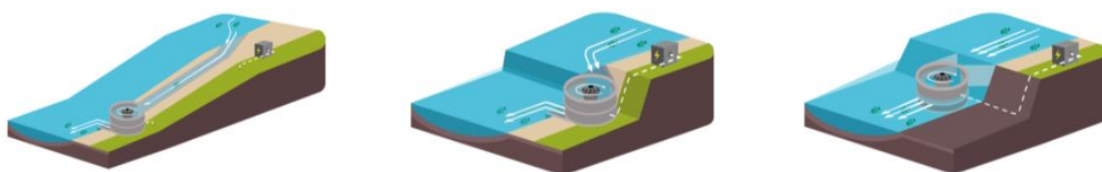


Figura 42. Tres tipos de instalación de la turbina (Fuente: Turbulent.be)

Existen tres tipos de instalaciones: la instalación en la que la turbina se instala directamente dentro del río o canal, la instalación en la que la variación en altura es progresiva y en la que la variación es abrupta. La instalación de las turbinas en estos últimos dos casos es muy sencilla: en el lateral de un río o canal donde haya una diferencia de altura se instala una estructura de cemento que reconducirá el agua hacia la turbina y otra estructura que la reconducirá de vuelta al río o canal. En medio de estas dos estructuras se instala la turbina. Finalmente se abre el paso del agua desde el río o canal hacia la instalación.

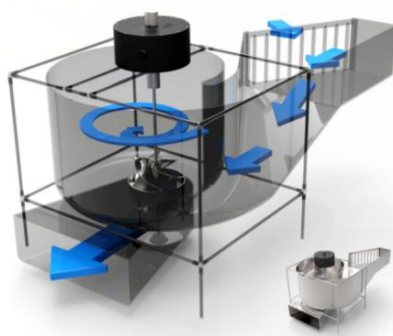


Figura 43. Esquema detallado del funcionamiento de la turbina (Fuente: Turbulent.be)

Las razones por las que no se ha planteado la viabilidad de este proyecto en la ciudad de Sant Cugat del Vallès son por la poca disponibilidad de fuertes caudales de agua cerca de la ciudad y por el hecho de que la investigación sobre el producto está aún en fases de prototipado y no está comercialmente disponible hoy en día.

6.3. Fermentalg y Suez sumidero de carbono

Un sumidero de carbono (o sumidero de CO₂) es un depósito natural o artificial que absorbe y almacena el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire. Hoy en día los principales sumideros mundiales son los océanos y los medios vegetales (bosques en formación) (76).

Mientras los arquitectos urbanos están debatiendo si es mejor plantar más árboles por el medio ambiente o instalar más alumbrado para evitar accidentes, las empresas Fermentalg y Suez han decidido diseñar una manera de matar dos pájaros de un tiro. El sumidero de carbono de estas empresas es un sumidero de carbono artificial que hace a la vez la función de lámpara. Dentro de esta lámpara hay agua donde se cultivan una serie de microalgas verdes que absorben el CO₂ del ambiente mediante la fotosíntesis y se iluminan ya que son algas bioluminiscentes.



Figura 44. Sumidero de carbono (Fuente: Fermentalg.com)

La ventaja principal de esta lámpara es que con 1m³ de agua se puede absorber la misma cantidad de CO₂ que 100 árboles, según la empresa Suez (77). Dentro de la lámpara, las microalgas se multiplican constantemente y forman una biomasa que se evacua y se transporta a una planta de tratamiento donde se puede reciclar y usarse como biometano que se puede utilizar como fuente verde de gas para la ciudad.

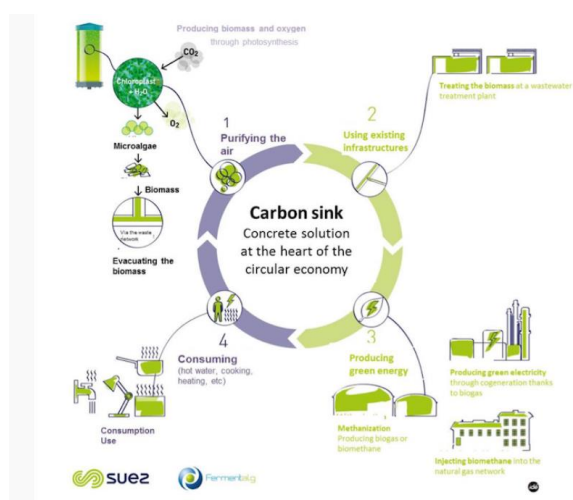


Figura 45. Ciclo del sumidero de carbono (Fuente: Fermentalg.com)

6.4. NuTonomy

NuTonomy es una empresa nacida en el MIT (Boston). El proyecto que han desarrollado pretende encarar la idea de las Smart Cities desde el punto de vista de la movilidad inteligente.

Esta empresa se basa en la idea de que en la Smart City del futuro la población no poseerá coches. Todo el transporte será compartido. En una Smart City utópica habrá coches eléctricos de conducción autónoma recogiendo y llevando a los ciudadanos de un punto a otro. Esta idea reduciría el tráfico, los accidentes (ya que los coches estarían interconectados entre sí), y los problemas para encontrar aparcamiento en las ciudades.

NuTonomy está desarrollando un software para que los taxis sin conductor sean una realidad. No solo son de conducción autónoma, sino que los coches que utiliza la empresa para los prototipos son también 100% eléctricos: Renault Zoe y Mitsubishi i-MiEV.

El software desarrollado es un sistema que percibe la localización, percibe la planificación urbana, reacciona al movimiento en el ambiente y toma decisiones. El potente software desempeña maniobras similares a las llevadas a cabo por los humanos.(78)

Una prueba piloto se desarrolló en Singapur en 2017. Este servicio fue gratuito para los usuarios ya que el objetivo de la empresa era recoger datos sobre cómo se comportan los coches en la ciudad. Cabe recalcar que la prueba fue un éxito.



Figura 46. Coche de la empresa NuTonomy (Fuente: nutonomy.com)

Una vez esta tecnología pase a ser comercial y deje de ser un prototipo será muy interesante ver cómo evoluciona y cómo se incorpora a las ciudades convencionales.

7. Impacto ambiental

En este apartado se hará un análisis del impacto ambiental de los cambios propuestos para la ciudad de Sant Cugat del Vallès.

Según el Instituto Catalán de Energía, en Cataluña se obtiene la electricidad mayoritariamente de las centrales nucleares, las centrales hidráulicas y las centrales térmicas (gas natural, carbón o biomasa) (79). En la siguiente tabla se aprecian las cantidades (en toneladas) de dióxido de carbono por gigavatio-hora producido considerando el ciclo de vida completo (incluyendo extracción y transporte de materias primas) de los diferentes tipos de central (80). En la tercera columna de la tabla se aprecia también el factor de emisión que corresponde a cada tipo de central (81).

Central	Cantidades (en toneladas) de CO ₂	Factores de emisión de CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)
Carbón	1100	0,472
Gas natural	650	0,252
Biomasa	50	0,018
Nuclear	5	0,0025

Tabla 32. Cantidad de CO₂ emitido por las centrales (Fuente: nuclear.org y caib.es)

Como se puede observar los tipos de centrales que más toneladas de dióxido de carbono producen son las de combustibles fósiles. Es por esto por lo que para analizar el impacto ambiental del proyecto se calcularán las huellas de carbono de estas centrales para ver el daño que se evita al instalar el campo de captación solar.

La huella de carbono es la totalidad de gases efecto invernadero emitidos por un individuo, organización evento o producto. A continuación, se calcularán las emisiones de CO₂ que comportaría producir el consumo de un día del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès mediante centrales en las que la fuente no es renovable. Se escoge el consumo de un día tipo del mes de diciembre por ser el que mayor consumo supone. Se realizarán estos cálculos tanto para la instalación inicial (la más viable en un futuro próximo) como para la instalación optimizada.

7.1. Alumbrado con la instalación inicial

Primero se analizarán las emisiones de dióxido de carbono que se evitan al establecer la instalación solar fotovoltaica que soporta el sistema de alumbrado que existe hoy en día en Sant Cugat del Vallès. Por tanto, se estudian las emisiones que comportan la producción de 24530,25 kWh/día (consultar la tabla 2) por centrales de combustibles fósiles.

- Carbón

$$24530,25 \frac{kWh}{día} * 0,472 \frac{kg CO_2}{kWh} = 11578,278 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.28.)$$

- Gas natural

$$24530,25 \frac{kWh}{día} * 0,252 \frac{kg CO_2}{kWh} = 6181,623 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.29.)$$

- Biomasa

$$24530,25 \frac{kWh}{día} * 0,018 \frac{kg CO_2}{kWh} = 441,5445 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.30.)$$

Finalmente se calculan las emisiones de dióxido de carbono que se producirían si la central que suministra la energía fuera una central nuclear. Este sería el mejor de los casos en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono se refiere.

$$24530,25 \frac{kWh}{día} * 0,0025 \frac{kg CO_2}{kWh} = 61,326 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.31.)$$

7.2. Alumbrado optimizado

En este apartado se analizarán las emisiones de dióxido de carbono que se evitan al establecer la instalación solar fotovoltaica que soporta el sistema de alumbrado con las optimizaciones propuestas en Sant Cugat del Vallès. Dado que no se ha expuesto con detalle el consumo de energía (en kWh/día) de la instalación optimizada, con el objetivo de hacer estos cálculos se presentan los datos en la tabla siguiente.

Mes	Energía consumida (kWh/día)
Enero	14299061
Febrero	13215901
Marzo	12256338
Abril	11173178
Mayo	10090018
Junio	9130455
Julio	9130455
Agosto	10090018
Septiembre	12132741
Octubre	13215901
Noviembre	14299061
Diciembre	15258624

Tabla 33. Energía consumida por la instalación optimizada (Fuente: propia)

Para calcular esta energía se ha calculado la diferencia entre los consumos (en kWh/día) de la instalación original y las instalaciones con sensores y con tecnología led. Después se ha restado esta diferencia al consumo original.

Una vez se saben estos datos se harán los cálculos siguientes de nuevo con la energía consumida en un día tipo del mes de diciembre por ser el peor de los casos. Por tanto, se estudian las emisiones que comportan la producción de 15258,624 kWh/día por centrales de combustibles fósiles.

- Carbón

$$15258,624 \frac{kWh}{día} * 0,472 \frac{kg CO_2}{kWh} = 7202,07 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.32.)$$

- Gas natural

$$15258,624 \frac{kWh}{día} * 0,252 \frac{kg CO_2}{kWh} = 3845,17 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.33.)$$

- Biomasa

$$15258,624 \frac{kWh}{día} * 0,018 \frac{kg CO_2}{kWh} = 274,66 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.34.)$$

Finalmente se calculan las emisiones de dióxido de carbono que se producirían si la central que suministra la energía fuera una central nuclear.

$$15258,624 \frac{kWh}{día} * 0,0025 \frac{kg CO_2}{kWh} = 38,14 \frac{kg CO_2}{día} \quad (Ec.35.)$$

Se observa que, aunque se optimizase la instalación, ésta seguiría produciendo una gran huella de carbono que se evitaría llevando a cabo el proyecto de la instalación solar fotovoltaica.

8. Análisis económico

En este capítulo se analizará el efecto económico que tendrían los proyectos propuestos para el alumbrado de la ciudad de Sant Cugat del Vallès. En el apartado del presupuesto se estudiarán dos proyectos por separado. El primero será la instalación propuesta originalmente (ISF convencional para el alumbrado actual de la ciudad). El segundo será la instalación solar fotovoltaica convencional que cubre el consumo del alumbrado optimizado (con sensores y tecnología LED). Finalmente se presupuestará el trabajo realizado por la autora de este documento.

8.1. Presupuesto

8.1.1. Instalación original

Los costes de la instalación original incluyen:

- Costes de material:
 - Paneles
 - Baterías
 - Inversores
 - EMS
 - Cableado. El cableado que va desde el bus de las cargas hasta las mismas cargas no se ha incluido en el presupuesto ya que se supone que el ayuntamiento ya dispone de cableado para esto.
 - Protecciones
- Costes de ingeniería
- Costes de mano de obra. Se ha optado por establecer el coste por hora de la mano de obra en España en 2016.

Todos los costes expuestos a continuación llevan el IVA incluido y las fuentes de los costes utilizados están referenciadas en la misma tabla.

	Concepto	Modelo	Unidades	Coste por unidad (€)	Coste total (€)
	Material				
(82)	Paneles solares	LG LG335N1C-A5	20112	232,43	4.674.632,16

(83)	Baterías	Batería Estacionaria BAE	76	884	67.184,00
(84)	Inversores	Sunny Boy 5000-US	1035	475,22	491.852,70
Sistema de gestión de energía					
(85)	Inversor bidireccional	Sunny Island 6048-US	8	4092	32.736,00
(86)	Equipo de monitorización	Sunny WebBox	1	670	670,00
(87)	Sensor de temperatura	Tracer	8	8	64,00
Cableado					
(88)	Paneles – inversor (Sector tipo 1)	RZ1-K (AS) 10 mm	70 m *296	1,46	30.251,20
(88)	Paneles – inversor (Sector tipo 2)	RZ1-K (AS) 6 mm	70 m *49	0,9	3.087,00
(88)	Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 1)	RZ1-K (AS) 25 mm	20 m *296	3,3	19.536,00
(88)	Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 2)	RZ1-K (AS) 16 mm	21 m *49	2,14	2.202,06
(88)	Baterías – Sunny Island (subsis tipo 1)	RZ1-K (AS) 120 mm	11 m *4	14,48	637,12
(88)	Baterías – Sunny Island (subsis tipo 2)	RZ1-K (AS) 95 mm	11 m *4	11,88	522,72
(88)	Sunny Island – Bus alimentación AC	RZ1-K (AS) 10 mm	45 m *8	1,46	525,60
Protecciones					
(89)	Nivel 1	UNF1-63-12S-CIL10-ST	345	875	301.875,00
(89)	Nivel 2	ARF2-86-315A-8S-CIL40	345	1245	429.525,00
(90)	Fusibles	Neozed Siemens	76	2,2	167,20
(89)	Equipo PCA	UNCA-200A-RA (Cahors)	345	1227	423.315,00
(89)	Equipo CIA	IF-1MC / IF-1TC / IF-1TMIA	345	1250	431.250,00
Subtotal					6.910.032,76
Ingeniería					
	Director		500 horas	50	25.000,00

	Técnicos		2*500 horas	32	32.000,00
Mano de obra					
(91)	Obreros		20*200 horas	21,3	85.200,00
TOTAL					7.052.232,76

Tabla 34. Presupuesto instalación original (Fuente: propia)

8.1.2. Instalación optimizada (sensores y LED)

Este es el presupuesto de la instalación optimizada con la variación correspondiente en el número de elementos y la inversión necesaria en los sensores y las lámparas LED.

	Concepto	Modelo	Unidades	Coste por unidad (€)	Coste total (€)
Material					
(82)	Paneles solares	LG LG335N1C-A5	12504	232,43	2.906.304,72
(83)	Baterías	Batería Estacionaria BAE	48	884	42.432,00
(84)	Inversores	Sunny Boy 5000-US (SMA)	644	475,22	306.041,68
Sistema de gestión de energía					
(85)	Inversor bidireccional	Sunny Island 6048-US	4	4092	16.368,00
(86)	Equipo de monitorización	Sunny WebBox	1	670	670,00
(87)	Sensor de temperatura	Tracer	4	8	32,00
Cableado					
(88)	Paneles – inversor (Sector tipo 1)	RZ1-K (AS) 10 mm	70 m *178	1,46	18.191,60
(88)	Paneles – inversor (Sector tipo 2)	RZ1-K (AS) 6 mm	70 m *38	0,9	2.394,00
(88)	Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 1)	RZ1-K (AS) 25 mm	20 m *178	3,3	11.748,00
(88)	Inversor - Bus alimentación AC (Sector tipo 2)	RZ1-K (AS) 16 mm	21 m *38	2,14	1.626,40

(88)	Baterías – Sunny Island	RZ1-K (AS) 120 mm	11 m *4	14,48	637,12
	Sunny Island – Bus alimentación AC	RZ1-K (AS) 10 mm	45 m *4	1,46	262,80
	Paneles – inversor (Sector tipo 1)	RZ1-K (AS) 10 mm	70 m *178	1,46	18.191,60
	Paneles – inversor (Sector tipo 2)	RZ1-K (AS) 6 mm	70 m *38	0,9	2.394,00
Protecciones					
(89)	Nivel 1	UNF1-63-12S-CIL10-ST	216	875	189.000,00
(89)	Nivel 2	ARF2-86-315A-8S-CIL40	216	1245	268.920,00
(90)	Fusibles	Neozed Siemens	48	2,2	105,60
(89)	Equipo PCA	UNCA-200A-RA (Cahors)	216	1227	265.032,00
(89)	Equipo CIA	IF-1MC / IF-1TC / IF-1TMIA	216	1250	270.000,00
Elementos optimizadores					
	Sensores	Sensor VL53L1X	3247	4,95	16.072,65
	Lámparas LED	LED Aventino 60 W Mean Well	15726	138	2.170.188,00
Subtotal					6.486.026,57
Ingeniería					
	Director		500 horas	50	25.000,00
	Técnicos		2*500 horas	32	32.000,00
Mano de obra					
(91)	Obreros		20*200 horas	21,3	85.200,00
TOTAL					6.628.226,57

Tabla 35. Presupuesto instalación optimizada con sensores y LEDs (Fuente: propia)

Como se puede observar, gracias a la reducción en el consumo que conlleva la instalación de los sensores y la tecnología LED, el presupuesto de la instalación optimizada es más bajo que el presupuesto de la instalación original aun teniendo que invertir en los sensores y las lámparas.

8.1.3. Presupuesto de elaboración del documento

Se ha decidido establecer el salario de 8 €/h ya que se considera un sueldo aproximado de un becario en una empresa.

Concepto	Unidades	Coste por unidad	Coste total	IVA (21%)	Coste con IVA
Trabajo					
Búsqueda de información	100 h	8 €	800 €	168 €	968 €
Cálculos	300 h	8 €	2400 €	504 €	2904 €
Redacción del documento	200 h	8 €	1600 €	336 €	1936 €
Otros					
Pack Office para la estudiante	1 u	69 €	69 €	14,49 €	83,49 €
TOTAL			4869 €	1022,49 €	5891,49 €

Tabla 36. Presupuesto elaboración del documento (Fuente: propia)

8.2. Retorno de la inversión

Habiendo analizado los diferentes proyectos se decide calcular el retorno de la inversión para el más rentable (instalación optimizada con sensores y LEDs).

8.2.1. Ahorro

Con el objetivo de contabilizar el ahorro se ha acudido a las tarifas para el alumbrado público de la empresa Endesa (92). Se ha decidido optar por esta empresa dado su gran peso e influencia en el mercado eléctrico del país.



Figura 47. Distribuidoras eléctricas en España (Fuente: alcanzia.es)

En el estudio que se llevará a cabo a continuación se considerará como ahorro el dinero que la administración de la ciudad deje de invertir en la empresa Endesa por el suministro de energía.

Se selecciona la tarifa 3.0 A (alumbrado público) de la empresa y se calcula lo que se paga en un año.
Dado que el precio de esta tarifa es 0,09671574 €/kWh el cálculo es el siguiente.

$$0,09671574 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 4388874,09 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} = 424.473,21 \text{ €} \quad (\text{Ec.36.})$$

Una vez sabido este valor se ha establecido que el precio de la energía proporcionada por la empresa distribuidora aumenta cada año en un 1,5%.

8.2.2. Costes operación y mantenimiento

Los costes de operación y mantenimiento de la instalación se han establecido como un 2% de la inversión inicial.

8.2.3. VAN

Finalmente, y con el objetivo de calcular el VAN de la instalación (y el año en el que este será positivo) se ha establecido la tasa de descuento en un 2%.

Periodo	Inversión	Costes op/man	Ahorro (Endesa)	Movimiento fondos	Acumulado	VAN
0	6.628.226,57 €			-6.628.226,57 €		-6.628.226,57 €
1	0,00 €	132.564,53 €	424.473,21 €	291.908,67 €	-6.336.317,90 €	-6.342.041,60 €
2	0,00 €	132.564,53 €	430.840,30 €	298.275,77 €	-6.044.409,22 €	-6.055.348,23 €
3	0,00 €	132.564,53 €	437.302,91 €	304.738,38 €	-5.746.133,45 €	-5.768.186,46 €
4	0,00 €	132.564,53 €	443.862,45 €	311.297,92 €	-5.441.395,07 €	-5.480.595,30 €
5	0,00 €	132.564,53 €	450.520,39 €	317.955,86 €	-5.130.097,15 €	-5.192.612,88 €
6	0,00 €	132.564,53 €	457.278,19 €	324.713,66 €	-4.812.141,29 €	-4.904.276,44 €
7	0,00 €	132.564,53 €	464.137,37 €	331.572,84 €	-4.487.427,63 €	-4.615.622,33 €
8	0,00 €	132.564,53 €	471.099,43 €	338.534,90 €	-4.155.854,80 €	-4.326.686,06 €
9	0,00 €	132.564,53 €	478.165,92 €	345.601,39 €	-3.817.319,90 €	-4.037.502,28 €
10	0,00 €	132.564,53 €	485.338,41 €	352.773,88 €	-3.471.718,51 €	-3.748.104,83 €
11	0,00 €	132.564,53 €	492.618,48 €	360.053,95 €	-3.118.944,63 €	-3.458.526,74 €
12	0,00 €	132.564,53 €	500.007,76 €	367.443,23 €	-2.758.890,68 €	-3.168.800,26 €
13	0,00 €	132.564,53 €	507.507,88 €	374.943,35 €	-2.391.447,45 €	-2.878.956,86 €
14	0,00 €	132.564,53 €	515.120,50 €	382.555,96 €	-2.016.504,10 €	-2.589.027,25 €
15	0,00 €	132.564,53 €	522.847,30 €	390.282,77 €	-1.633.948,14 €	-2.299.041,40 €
16	0,00 €	132.564,53 €	530.690,01 €	398.125,48 €	-1.243.665,37 €	-2.009.028,56 €
17	0,00 €	132.564,53 €	538.650,36 €	406.085,83 €	-845.539,89 €	-1.719.017,26 €
18	0,00 €	132.564,53 €	546.730,12 €	414.165,59 €	-439.454,05 €	-1.429.035,34 €
19	0,00 €	132.564,53 €	554.931,07 €	422.366,54 €	-25.288,47 €	-1.139.109,96 €
20	0,00 €	132.564,53 €	563.255,04 €	430.690,51 €	397.078,07 €	-849.267,59 €

21	0,00 €	132.564,53 €	571.703,86 €	439.139,33 €	827.768,58 €	-559.534,08 €
22	0,00 €	132.564,53 €	580.279,42 €	447.714,89 €	1.266.907,91 €	-269.934,62 €
23	0,00 €	132.564,53 €	588.983,61 €	456.419,08 €	1.714.622,80 €	19.506,25 €
24	0,00 €	132.564,53 €	597.818,37 €	465.253,83 €	2.171.041,88 €	308.764,55 €

Tabla 37. VAN del proyecto (Fuente: propia)

Se aprecia en la tabla anterior que, si la administración de la ciudad hiciese la inversión para implementar el proyecto, esta inversión se vería retornada a los 23 años. Este tiempo de retorno se considera bastante favorable dada la dimensión del proyecto.

9. Conclusiones

La primera conclusión a la que se llega una vez se ha completado este trabajo es que las Smart Cities dejarán de ser una opción y pasarán a ser una necesidad en un futuro no tan lejano si empieza a considerarse una prioridad que la tierra sea duradera. Las proyecciones de las Naciones Unidas indican que para el año 2050 el 75% de la población vivirá en ciudades (93). Esto implica sobrepoblación y más contaminación en las metrópolis o urbanización de las zonas rurales. Estas dos opciones son muy amenazantes para el medio ambiente. La población necesita reinventar la forma en la que funcionan las ciudades y su relación con los ciudadanos y la naturaleza dado que parece que la humanidad está encallada en la revolución industrial 200 años después de esta.

En cuanto a la primera sección de la parte práctica de este trabajo se puede concluir que el proyecto propuesto es viable y ayudaría, en gran medida, a la ciudad de Sant Cugat del Vallès a avanzar en el camino de llegar a ser una Smart City. En cuanto al dimensionado del alumbrado público de Sant Cugat del Vallès se ha intentado hacer de la manera más real y exacta posible. Los problemas que han ido surgiendo se han intentado solucionar de la manera más lógica posible y el resultado final se considera satisfactorio. Cabe recalcar también que la autora ha adquirido muchos conocimientos que antes no poseía relativos al dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas gracias a este trabajo. También cabe destacar el hecho de que la segunda instalación (donde se reduce el consumo con sensores y tecnología LED) salía más rentable que la primera a pesar de tener que invertir en los sensores y las lámparas. Este hecho refleja la importancia de la tecnología en la reducción del consumo energético de las ciudades.

En lo referente a las ideas innovadoras presentadas, éstas presentan un futuro muy prometedor para la sociedad. Sin embargo, todas las ideas provienen de startups pequeñas formadas por gente joven que no tiene los fondos necesarios para desarrollar sus proyectos a nivel comercial. Es por esto por lo que las grandes empresas deberían invertir más en financiar ideas que nos lleven hacia las Smart Cities.

Finalmente, con respecto al presupuesto, la ciudad recuperaría el dinero invertido al cabo de 22 años implementando la instalación propuesta y además tendría un impacto muy positivo en el medio ambiente como se ha descrito en el capítulo del impacto ambiental. Aun así, la autora cree firmemente que el precio de los elementos presupuestados debería ser muy inferior al que es.

9.1. El futuro de las Smart Cities

Durante la realización de este trabajo la autora se ha topado con elementos (tanto en el marco legal como en el logístico y el ejecutivo) que se podrían (y se deberían) modificar por el bien de la población actual y futura.

9.1.1. Marco legal

En el marco legal se acude al Real Decreto 900/2015 para referenciar el cambio que se propone. En este RD, como se ha dicho con anterioridad, se regulan las condiciones de las modalidades de suministro de energía eléctrica y de producción.

El problema surge cuando dentro de este documento nos topamos con la imposición de lo que se conoce comúnmente como el “impuesto al sol”, avalado por el Tribunal Supremo en 2015. Esta es la mayor traba legal de la administración del país hacia las instalaciones solares fotovoltaicas. Este impuesto pretende que el Estado cobre a los usuarios de energía de autoconsumo solar en uno de los países con más sol de Europa con el argumento de que el sistema eléctrico ofrece respaldo cuando las instalaciones sean insuficientes. Básicamente es como si alguien que no tuviese coche tuviese que pagar a las empresas petroleras.

Este Real Decreto ha frenado la implantación de energías de autoconsumo fotovoltaico en nuestro país muy considerablemente poniéndonos muy por detrás de países como Bélgica, Noruega o Suecia, países con muchas menos horas solares. (94)

En este ámbito existe un atisbo de esperanza ya que en enero de 2018 se votó que no a la aplicación del impuesto al sol en España. Sin embargo, el gobierno nacional aún no ha emprendido acciones al respecto. (95)

9.1.2. Precio de los paneles fotovoltaicos

Como se aprecia en los presupuestos, los elementos más caros de una instalación fotovoltaica (debido también a que son los más abundantes) son los paneles solares. El total invertido en los captadores en los proyectos se ha elevado a 4 millones de euros y 2 millones de euros en el mejor de los casos. Es cierto que, como se ha mostrado en la figura 31, la energía solar fotovoltaica se está implementando cada vez más gracias a la reducción en el precio de los paneles. Sin embargo, y a pesar de haber bajado el precio un 80% en 6 años, hoy en día estos siguen siendo carísimos. A pesar de esto, las perspectivas son positivas y se confía en que el precio continúe bajando.

9.1.3. Rendimiento de las baterías

Otro aspecto que se ha comentado en este proyecto es el rendimiento de las baterías. Las baterías de hoy en día tienen una profundidad de descarga muy desfavorable y es por eso por lo que se ha propuesto el tercer proyecto (instalación con almacenamiento alternativo). Sin embargo, en ciudades donde no haya grandes masas de agua cerca para llevar a cabo el proyecto (como es el caso de Sant Cugat del Vallès) la inversión en infraestructura es demasiado elevada. Es por esto por lo que se establece que se debería invertir más en la investigación y desarrollo de la eficiencia de las baterías.

9.1.4. Implementación de tecnologías

En cuanto al otro aspecto de las Smart Cities, la tecnología, gracias a este proyecto se ha descubierto que haciendo una inversión no demasiado elevada (para un ayuntamiento) en tecnologías se consigue una reducción muy significativa en el consumo de la ciudad.

Existen otras tecnologías que no implican demasiado coste para la administración de la ciudad y también conllevan un avance hacia una Smart City. Estas son, por ejemplo, las aplicaciones explicadas al principio del trabajo en las que la ciudadanía tiene acceso a información expuesta por el ayuntamiento (sobre el tráfico, el tiempo, los eventos...).

9.1.5. Inversión en el carril bici

Por último, se propone hacer una inversión en la expansión del carril bici de Sant Cugat del Vallès. Cuando se estaba haciendo la investigación previa al trabajo, la autora se percató de que uno de los factores más característicos de las Smart Cities era que sus carriles bici tenían mucha importancia ya que una gran parte de la población de una Smart City se mueve en bicicleta.

Se presenta este proyecto en las conclusiones ya que no es un proyecto innovador y que necesite evolucionar para poder implantarse. La creación de carriles bici lleva mucho tiempo implementándose y es muy viable.

A continuación, se presenta el mapa del carril bici de Sant Cugat del Vallès. Lo primero que llama la atención es que en este mapa únicamente está representado el núcleo de la ciudad y que aun así el carril para las bicicletas es escaso. La inversión que se tendría que hacer no sería demasiado elevada y sería un incentivo para que la población cambiase el coche por la bicicleta.

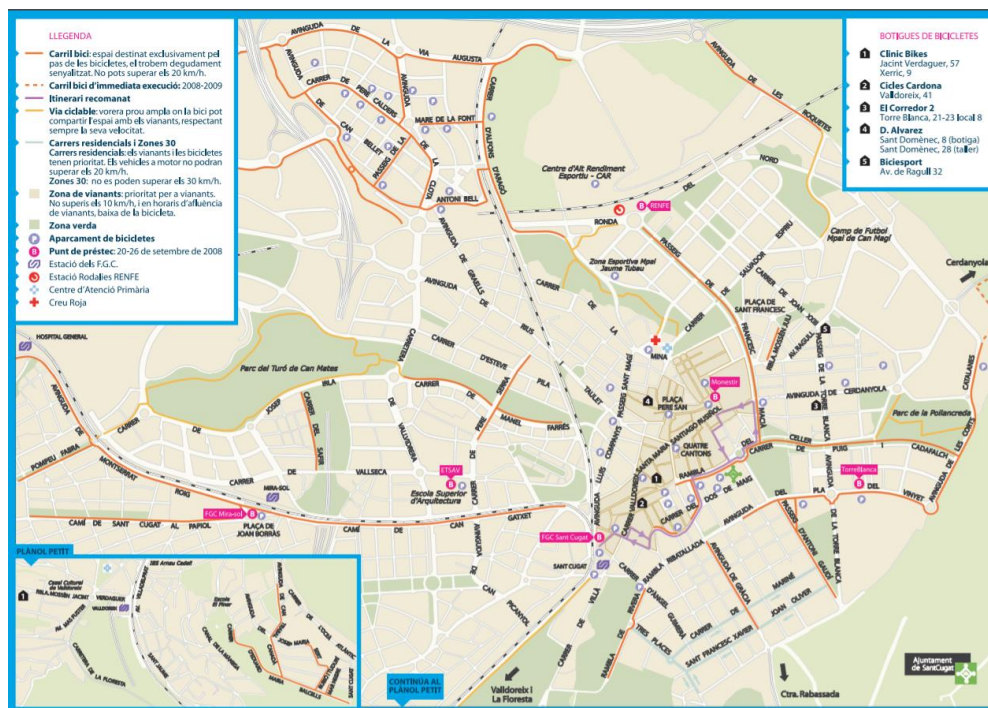


Figura 48. Carril bici de Sant Cugat del Vallès (Fuente: santcugat.cat)

Para resumir, una vez completado este trabajo se considera la opción de ir evolucionando poco a poco hacia una Smart City viable y factible si la administración de la ciudad está dispuesta a hacer las inversiones necesarias.

9.2. Conclusiones a nivel personal

A nivel personal, el sentimiento es de satisfacción al haber completado este trabajo y haber ido aprendiendo muchas cosas en el transcurso del tiempo.

He desarrollado una opinión respecto a muchos temas de los que antes no tenía conocimiento y he sabido resolver los problemas que se me han presentado por el camino.

Ha sido muy interesante ver cómo se podrían aplicar los conocimientos aprendidos durante el grado en la vida real. Este trabajo me ha ayudado a darme cuenta de que me gustaría formar parte de una empresa en la que estos proyectos se convirtiesen en realidad ayudando así a sustituir las fuentes de energía convencionales por fuentes de energía renovables y mejorando el mundo poco a poco.

Bibliografía

1. India: La contaminación en Nueva Delhi supera diez veces el límite recomendado | Internacional | EL PAÍS. A: [en línea]. [Consulta: 25 febrer 2018]. Disponible a: https://elpais.com/internacional/2017/11/13/actualidad/1510580451_991837.html.
2. ¿Qué es una Smart City? A: [en línea]. [Consulta: 28 febrer 2018]. Disponible a: <http://www.creatingsmartcities.es/smartcity.php>.
3. El Libro Blanco Smart Cities propone prestar atención a cinco áreas clave: Gobierno, movilidad, sostenibilidad, población y economía. • ESMARTCITY. A: [en línea]. [Consulta: 28 febrer 2018]. Disponible a: <https://www.esmartcity.es/2013/02/05/el-libro-blanco-smart-cities-propone-prestar-atencion>.
4. Qué es la conciencia ecológica - Ocio. A: [en línea]. [Consulta: 3 març 2018]. Disponible a: <https://www.ocio.net/estilo-de-vida/ecologismo/que-es-la-conciencia-ecologica/>.
5. Artaraz, M. Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. A: *Ecosistemas* [en línea]. 2001, núm. 2. [Consulta: 5 març 2018]. Disponible a: <http://www.aet.org/ecosistemas/022/informe1.htm>.
6. Análisis de la Triple Sostenibilidad | usefullsinergy. A: [en línea]. [Consulta: 5 març 2018]. Disponible a: <https://usefullsinergy.wordpress.com/2011/09/17/analisis-de-la-triple-sostenibilidad/>.
7. The Triple Bottom Line: What Is It and How Does It Work? A: [en línea]. [Consulta: 5 març 2018]. Disponible a: <http://www.ibrc.indiana.edu/ibr/2011/spring/article2.html>.
8. La importancia del Desarrollo Sustentable. A: [en línea]. [Consulta: 28 març 2018]. Disponible a: <https://www.emprendices.co/la-importancia-del-desarrollo-sustentable/>.
9. La triple sostenibilidad de las empresas. | Sostenibilidad y Negocios. A: [en línea]. [Consulta: 5 març 2018]. Disponible a: <https://100sd.wordpress.com/2012/08/16/la-triple-sostenibilidad-de-las-empresas/>.
10. Pedersen, E.R. *Corporate social responsibility*. London: SAGE Publishing, 2015. ISBN 9780857022448.
11. La triple sostenibilidad, clave para la competitividad de las ciudades - Ciudades del Futuro. A: [en línea]. [Consulta: 3 març 2018]. Disponible a: <https://ciudadesdelfuturo.es/la-triple-sostenibilidad-clave-para-la-competitividad-de-las-ciudades.php>.
12. *It's the law: Big EU companies must report on sustainability* [en línea]. [Consulta: 25 març 2018]. Disponible a: <http://www.greenbiz.com/blog/2014/04/17/eu-law-big-companies-report-sustainability>.
13. Vigon, B.W. (Bruce W. *Life-cycle assessment : inventory guidelines and principles*. London, 1994. ISBN 1566700159.
14. Las TIC en el Gobierno abierto: Transparencia, participación y colaboración | Fundación Telefónica España. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a:

https://www.fundaciontelefonica.com/arte_cultura/publicaciones-listado/pagina-item-publicaciones/itempubli/211/.

15. Willis, A. The Role of the Global Reporting Initiative's Sustainability Reporting Guidelines in the Social Screening of Investments. A: *Journal of Business Ethics* [en línea]. 2003, Vol. 43, núm. 3, p. 233-237. [Consulta: 15 març 2018]. Disponible a: <http://www.springerlink.com/content/pt53214283574580/>.

16. Mejora tu Ciudad – La mejor Plataforma Smart City para la gestión de ciudades. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://mejoratuciudad.org/>.

17. Transporte. A: [en línea]. [Consulta: 25 març 2018]. Disponible a: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/transporte>.

18. car2go Carsharing Madrid. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://www.car2go.com/ES/es/madrid/>.

19. Emov - Home. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://emov.es/>.

20. Zity. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://zitycar.es/>.

21. Car2go, Emov o Zity ¿cuál es mejor? | Autocasión. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/car2go-o-emov-cual-es-mejor>.

22. Living Labs Global. A: [en línea]. [Consulta: 29 abril 2018]. Disponible a: <http://www.livinglabs-global.com/livinglabs.html>.

23. Smartcity Málaga de Endesa, ganadora en el Living Labs Global Award 2012 | Enerlis. A: [en línea]. [Consulta: 29 abril 2018]. Disponible a: <http://blog.enerlis.com/2012/05/smartcity-malaga-de-endesa-ganadora-en-el-living-labs-global-award-2012/>.

24. Smart City Málaga, eficiencia energética y laboratorio urbano • ESMARTCITY. A: [en línea]. [Consulta: 29 abril 2018]. Disponible a: <https://www.esmartcity.es/2014/07/24/smart-city-malaga-eficiencia-energetica-y-laboratorio-urbano>.

25. Espanya. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. i Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992 : Rio de Janeiro). *Río 92*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Centro de Publicaciones, 1992. ISBN 8474338980.

26. División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. A: [en línea]. [Consulta: 1 abril 2018]. Disponible a: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm>.

27. Gestión del verde y biodiversidad | Ecología, Urbanismo y Movilidad. A: [en línea]. [Consulta: 1 abril 2018]. Disponible a: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/servicios/la-ciudad-funciona/mantenimiento-del-espacio-publico/gestion-del-verde-y-biodiversidad>.

28. Gestión integral del agua | Ecología, Urbanismo y Movilidad. A: [en línea]. [Consulta: 6 abril 2018]. Disponible a: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/servicios/la-ciudad-funciona/mantenimiento-del-espacio-publico/gestion-integral-del-agua>.

29. Puerto Mediterráneo se reinventa: será «smart city», verde y con otro nombre - Levante-EMV. A: [en línea]. [Consulta: 1 abril 2018]. Disponible a: <http://www.levante-emv.com/economia/2017/05/17/puerto-mediterraneo-reinventa-sera-smart/1567798.html>.
30. *Guía europea para la planificación de las agendas 21 locales : cómo implicarse en un plan de acción ambiental a largo plazo hacia la sostenibilidad*. Bakeaz, 1998. ISBN 8488949251.
31. Ortega, O.A. Smart Cities Desarrollando las ciudades del futuro. A: [en línea]. [Consulta: 16 abril 2018]. Disponible a: <http://www.famp.es/export/sites/famp/.galleries/documentos-europa2020/Olga-Aguilera.pdf>.
32. Minetur. Plan Nacional de Ciudades Inteligentes. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: http://www.minetad.gob.es/turismo/es-ES/Novedades/Documents/Plan_Nacional_de_Ciudades_Inteligentes.pdf.
33. Quienes somos: RECI. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <http://www.redciudadesinteligentes.es/index.php/sobre-la-red/quienes-somos>.
34. Smart cities de España y Portugal se convertirán en urban labs para emprendedores de startup4cities. A: [en línea]. [Consulta: 28 abril 2018]. Disponible a: <http://www.redciudadesinteligentes.es/index.php/noticias/79-smart-cities-de-espana-y-portugal-se-convertiran-en-urban-labs-para-emprendedores-de-startup4cities>.
35. Idescat. El municipio en cifras. Sant Cugat del Vallès. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://www.idescat.cat/emex/?id=082055&lang=es>.
36. Smart City Sant Cugat. A: [en línea]. [Consulta: 26 abril 2018]. Disponible a: <https://es.slideshare.net/PrensaSantCugat/smart-city-sant-cugat-15463722>.
37. Govern Obert - Xarxes Smart City. A: [en línea]. [Consulta: 28 abril 2018]. Disponible a: <https://www.santcugat.cat/go/xarxes-smart-city>.
38. Sant Cugat, los primeros de España en probar las Google Glass. A: [en línea]. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible a: <http://www.lavanguardia.com/local/sabadell/20140527/54408403121/sant-cugat-primeros-espana-probar-google-glass.html>.
39. El primer Carrer Intel·ligent de Catalunya: Smart Street. A: [en línea]. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible a: <https://es.slideshare.net/PrensaSantCugat/dossier-de-premsa-smart-street>.
40. Sant Cugat presenta al món els seus projectes d'Smart City. A: [en línea]. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible a: <http://www.totsantcugat.cat/economia/sant-cugat-presenta-al-mon-els-seus-projectes-d-smart-city-24778102.html>.
41. Sant Cugat explica el model de ciutat al Smart City Expo. A: [en línea]. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible a: <http://www.totsantcugat.cat/actualitat/ciutat/sant-cugat-explica-el-model-de-ciutat-al-smart-city-expo-17400102.html>.
42. Volpelleres Library Living Lab. A: [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible a: <https://www.cugat.cat/docs/Volpelleres-Living-Lab.pdf>.

43. Regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos | Aranzadi. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://aranzadi.aranzadidigital.es.recursos.biblioteca.upc.edu/maf/app/document?startChunk=1&endChunk=2&stid=marginal_chunk&ds=ARZ_LEGIS_CS&infotype=arz_legis&marginal=RCL%5C2014%5C807&version=&srguid=i0ad82d9a000001638267af322f4cb830&lang=spa&src=withinResut.
44. Regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo | Aranzadi. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://aranzadi.aranzadidigital.es.recursos.biblioteca.upc.edu/maf/app/document?startChunk=1&endChunk=2&stid=marginal_chunk&ds=ARZ_LEGIS_CS&infotype=arz_legis&marginal=RCL%5C2015%5C1568&version=&srguid=i0ad82d9b00000163825e8d3f5674f162&lang=spa&src=within.
45. Ley del Sector Eléctrico 2014 | Aranzadi. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://aranzadi.aranzadidigital.es.recursos.biblioteca.upc.edu/maf/app/document?startChunk=1&endChunk=2&stid=marginal_chunk&ds=ARZ_LEGIS_CS&infotype=arz_legis&marginal=RCL%5C2013%5C1852&version=&srguid=i0ad82d9b0000016382815f7831e7f9f3&lang=spa&src=withinResu.
46. REGLAMENTO EFICIENCIA ENERGÉTICA INSTALACIONES ALUMBRADO EXTERIOR. A: [en línea]. [Consulta: 15 maig 2018]. Disponible a: http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/F4DC1AA0-F911-444A-8C12-75CE79B39557/69731/1210100_2008.pdf.
47. Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno. A: [en línea]. [Consulta: 10 maig 2018]. Disponible a: http://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ca-l6-2001.html#a1.
48. Decreto 190/2015, de 25 de agosto, de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno. A: [en línea]. [Consulta: 10 maig 2018]. Disponible a: http://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/558496-d-190-2015-de-25-de-agosto-de-desarrollo-de-la-ley-6-2001-de-31-de-mayo.html#a1.
49. Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Aislada de Red. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf.
50. REBT de 2002. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/Si_Ambito.aspx?id_am=76.
51. ITC-BT-08 MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Página 2 de 6. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_08.pdf.
52. ITC-BT-19. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_19.pdf.
53. Interiores, I. i Receptoras, O. ITC-BT-24 MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_24.pdf.
54. ITC-BT-40. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a:

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_40.pdf.

55. IEC 60228 Cable - Eland Cables | Eland Cables. A: [en línea]. [Consulta: 1 maig 2018]. Disponible a: <https://www.elandcables.com/electrical-cable-and-accessories/cables-by-standard/iec-60228-cable>.

56. Estadísticas del viento y del tiempo Sabadell Aeropuerto (cerca de Sant Cugat de Vallès) - Windfinder. A: [en línea]. [Consulta: 7 maig 2018]. Disponible a: https://www.windfinder.com/windstatistics/sabadell_aeropuerto?fsport=sant_cugat_de_valles.

57. Salida del sol en barcelona (hora de puesta del sol hoy y mañana, calendario, horario, grafica). Duración del día solar (horas de luz hoy). A: [en línea]. [Consulta: 7 maig 2018]. Disponible a: https://salidaypuestadelsol.com/spain/barcelona_6344.html.

58. legislació parcs eòlics. A: .

59. ¿Que son los Lúmenes y para que sirven? A: [en línea]. [Consulta: 8 maig 2018]. Disponible a: <https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/que-son-los-lumenes-y-para-que-sirven/>.

60. Martinez Garcia, H. BLOQUE I Sistemas de ESF : Dimensionado de Instalaciones con Baterías. A: . 2014,

61. Martinez Garcia, H. Guía de Diseño Mejorado en el Dimensionado de una Instalación de ESF Elección de la Inclinación Óptima de los Paneles Fotovoltaicos Determinación de la Inclinación Adecuada en Colectores Solares (I) ▯ Inclinación del colector solar : Inclinación Suelo h. A: . 2014,

62. ATLAS DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA. A: [en línea]. 2000, [Consulta: 8 maig 2018]. Disponible a: http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxiu/monografic12.pdf.

63. Hora solar pico - Wikipedia, la enciclopedia libre. A: [en línea]. [Consulta: 13 maig 2018]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico.

64. Los distintos tipos de baterías: Monoblock, AGM, Estacionarias, de GEL o de Litio - Teknosolar Community - Foro sobre Energía Solar. A: [en línea]. [Consulta: 14 maig 2018]. Disponible a: <https://www.teknosolar.com/community/discussion/6/los-distintos-tipos-de-baterias-monoblock-agm-estacionarias-de-gel-o-de-litio>.

65. Martinez Garcia, H. Guía de Diseño Mejorado en el Dimensionado de una Instalación de ESF Capacidad y Régimen de Funcionamiento de una Batería (I) Capacidad y Régimen de Funcionamiento de una Batería (II) Capacidad y Régimen de Funcionamiento de una Batería (III). A: . 2014,

66. Martinez Garcia, H. Guía de Diseño Mejorado en el Dimensionado de una Instalación de Energía Solar Fotovoltaica. A: . 2014, p. 139.

67. America, S. Instrucciones de funcionamiento - SUNNY ISLAND 4548-US / 6048-US. A: [en línea]. [Consulta: 1 juny 2018]. Disponible a: http://www.exelsolar.com/Documentos/ManualesUsuario/Productos/SI6048-US-10_ManualUsuario.pdf.



68. Equipos de protección para instalaciones fotovoltaicas. A: [en línea]. [Consulta: 10 maig 2018]. Disponible a: http://boj.pntic.mec.es/crodenas/solares/ut5/Protecciones_Cahors.pdf.
69. Ajuntament de Sant Cugat - Cerca_guia. A: [en línea]. [Consulta: 31 maig 2018]. Disponible a: https://www.santcugat.cat/cerca-guia?pag=1&codi_class=44&codi_class2=47.
70. Evolución y perspectivas para la energía solar fotovoltaica – EconoNuestra. A: [en línea]. [Consulta: 15 maig 2018]. Disponible a: <http://blogs.publico.es/econonuestra/2016/04/01/evolucion-y-perspectivas-para-la-energia-solar-fotovoltaica/>.
71. Time of Flight (ToF) Sensors - STMicroelectronics. A: [en línea]. [Consulta: 25 maig 2018]. Disponible a: http://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/proximity-sensors.html?querycriteria=productId=SC1938.
72. Moreno, I., Sun, C.-C. i Sun, C.C. Modeling the radiation pattern of LEDs. A: *Optics express* [en línea]. 2008, Vol. 16, núm. 3, p. 1808-19. ISSN 1094-4087. DOI 10.1364/OE.16.001808. [Consulta: 26 maig 2018]. Disponible a: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18542260>.
73. Comprar Luminaria LED Aventino 60W MEAN WELL - efectoLED. A: [en línea]. [Consulta: 26 maig 2018]. Disponible a: https://www.efectoled.com/es/comprar-luminarias-led-alumbrado-publico/1762-luminaria-led-aventino-60w.html?gclid=CjwKCAjwi6TYBRAYEiwAOeH7GVHZsvjClylffJFWDJbIP3YjmxsWVFe-29YfSPHg6Xwz04ZT6mnQEBoCJGIQAvD_BwE.
74. Pantà de Can Borrell. A: [en línea]. [Consulta: 10 maig 2018]. Disponible a: http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/inventari_zones_humides/documents_fitxes/besos/fitxers_estatics/06004001_panta_can_borrell.pdf.
75. Technology – Turbulent Website. A: [en línea]. [Consulta: 15 maig 2018]. Disponible a: <https://www.turbulent.be/technology/>.
76. McNeil, B.I. Anthropogenic CO₂ Uptake by the Ocean Based on the Global Chlorofluorocarbon Data Set. A: *Science* [en línea]. 2003, Vol. 299, núm. 5604, p. 235-239. ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.1077429. [Consulta: 22 maig 2018]. Disponible a: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1077429>.
77. “Carbon sink”: producing green energy while reducing greenhouse gases : Prêts pour la révolution de la resource. A: [en línea]. [Consulta: 22 maig 2018]. Disponible a: <http://www.ready-for-the-resource-revolution.com/en/carbon-sink-producing-green-energy-while-reducing-greenhouse-gases/>.
78. nuTonomy - Home. A: [en línea]. [Consulta: 27 maig 2018]. Disponible a: <https://www.nutonomy.com/>.
79. Generación de electricidad. Instituto Catalán de Energía. A: [en línea]. [Consulta: 24 maig 2018]. Disponible a: <http://icaen.gencat.cat/es/energia/formes/electricitat/generacio/>.
80. ¿Cómo influye la energía nuclear en el medio ambiente? A: [en línea]. [Consulta: 24 maig 2018]. Disponible a: <https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/120158-icomo-influye-la->

energia-nuclear-en-el-medio-ambiente.

81. General de Planificación Energética Seguimiento, S. Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España [PDF][647,80 KB]. A: [en línea]. [Consulta: 25 maig 2018]. Disponible a: http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros documentos/Factores_emision_CO2.pdf.

82. LG Módulo Solaire LG335N1C-A5 NeON™ 335 Wp - 30V-Shop solarmove GmbH Frankfurter Str. 43 61476 Kronberg. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <http://www.heeg-e-auto.de/Paneles-solares/LG-Modulo-Solair-LG335N1C-A5-NeON-TM-335-Wp::15.html>.

83. full-text. A: .

84. 5kW Grid Tie Solar Inverter With Combiner Box SB5000US 5000W NEW STOCK UL CEC! | eBay. A: [en línea]. [Consulta: 31 maig 2018]. Disponible a: <https://www.ebay.com/itm/5kW-Grid-Tie-Solar-Inverter-With-Combiner-Box-SB5000US-5000W-NEW-STOCK-UL-CEC/232783184118?hash=item3632f580f6:g:3ycAAOSwMB9ayCsL>.

85. SMA Sunny Island 6048-US-10 Inverter - Wholesale Solar. A: [en línea]. [Consulta: 31 maig 2018]. Disponible a: <https://www.wholesalesolar.com/2945484/sma/inverters/sma-sunny-island-6048-us-10-inverter>.

86. SMA Sunny WebBox Monitoring Systems. A: [en línea]. [Consulta: 31 maig 2018]. Disponible a: <https://www.gogreensolar.com/products/sma-sunny-webbox>.

87. sensor temperatura regulador tracer. A: [en línea]. [Consulta: 31 maig 2018]. Disponible a: <https://www.rebacas.com/con-leds/495-sensor-temperatura-tracer.html>.

88. Cable RZ1-K Libre de Halógenos Unipolar 1Kv - Ilumitec. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <https://www.ilumitec.es/cable-unipolar-libre-halogenos-06-1kv-rz1k>.

89. Condiciones generales de venta. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: http://worldcatv.com/WebRoot/Store14/Shops/890192d1-19d1-4d23-8188-429c33716b2c/MediaGallery/CAHORS2014-CAJAS_ESTANCAS_Y_CONTADORES_FIN.pdf.

90. FUSIBLE NEOZED 400V 25A - Eurofred Recambios. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <https://recambios.eurofred.es/fusible-neozed-400v-25a.html>.

91. El coste por hora de la mano de obra en España fue de 21,3 euros en 2016. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <http://www.lavanguardia.com/politica/20170406/421496085022/el-coste-por-hora-de-la-mano-de-obra-en-espana-fue-de-213-euros-en-2016.html>.

92. Preferente | Empresas | Endesa Clientes. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <https://www.endesaclientes.com/empresas/tarifa-preferente.html>.

93. Fab City Whitepaper. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: www.fab.city.

94. Autoconsumo fotovoltaico en España vs. Europa | Inarquia. A: [en línea]. [Consulta: 29 maig 2018]. Disponible a: <https://inarquia.es/autoconsumo-fotovoltaico-espana-europa>.



95. Europa dice no al impuesto al sol en España | Life - ComputerHoy.com. A: [en línia]. [Consulta: 30 maig 2018]. Disponible a: <https://computerhoy.com/noticias/life/europa-dice-no-impuesto-sol-espana-74545>.

Anexo A

A1. Ficha de características del panel solar

Rated electrical characteristic except power rating within -0/+3 percent are within 5 percent of measured. Values at Standard Test Condition (STC) : Irradiance 1000W/m^2 , Cell temp. 25°C , 1.5AM

Module Series	Model Name	Electrical Properties								Mechanical Properties				
		P _{max} at STC	Power Tolerance	V _{oc} at STC	I _{sc} at STC	V _{mp} at STC	I _{mp} at STC	Max. Series Fuse Rating	Max. System Voltage	Connector	Length	Width	Height	Weight
		W	%	V	A	V	A	A	V		mm	mm	mm	kg
LGXXXN1C(W)-A5	LG320N1C(W)-A5	320	0~3%	40.7	10.37	32.9	9.74	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG325N1C(W)-A5	325	0~3%	40.8	10.41	33.3	9.77	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG330N1C(W)-A5	330	0~3%	40.9	10.45	33.7	9.80	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG333N1C(W)-A5	333	0~3%	41.0	10.47	34.0	9.81	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG335N1C(W)-A5	335	0~3%	41.0	10.49	34.1	9.83	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG340N1C(W)-A5	340	0~3%	41.1	10.53	34.5	9.86	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG345N1C(W)-A5	345	0~3%	41.2	10.57	34.9	9.89	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
LGXXXN1K-A5	LG310N1K-A5	310	0~3%	40.6	10.11	32.5	9.55	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG315N1K-A5	315	0~3%	40.7	10.15	32.9	9.58	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG320N1K-A5	320	0~3%	40.8	10.19	33.3	9.62	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG325N1K-A5	325	0~3%	40.9	10.23	33.7	9.65	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG330N1K-A5	330	0~3%	41.0	10.27	34.1	9.69	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
LGXXXN2C(W)-A5	LG335N1K-A5	335	0~3%	41.1	10.31	34.5	9.72	20	1000	MC4/JM601A/05-8	1686	1016	40	18.0
	LG360N2C(W)-A5	360	0~3%	48.5	10.19	37.4	9.63	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG365N2C(W)-A5	365	0~3%	48.6	10.19	37.8	9.66	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG370N2C(W)-A5	370	0~3%	48.7	10.23	38.2	9.69	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG375N2C(W)-A5	375	0~3%	48.8	10.27	38.6	9.72	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG380N2C(W)-A5	380	0~3%	48.9	10.31	39.0	9.75	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG385N2C(W)-A5	385	0~3%	49.0	10.35	39.4	9.78	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG390N2C(W)-A5	390	0~3%	49.1	10.39	39.8	9.81	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG395N2C(W)-A5	395	0~3%	49.2	10.43	40.2	9.83	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG400N2C(W)-A5	400	0~3%	49.3	10.47	40.6	9.86	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG405N2C(W)-A5	405	0~3%	49.4	10.51	41.0	9.89	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG410N2C(W)-A5	410	0~3%	49.5	10.55	41.4	9.91	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG415N2C(W)-A5	415	0~3%	49.6	10.59	41.8	9.94	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG420N2C(W)-A5	420	0~3%	49.7	10.63	42.1	9.98	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG425N2C(W)-A5	425	0~3%	49.8	10.67	42.5	10.01	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
LGXXXN2K-A5	LG360N2K-A5	360	0~3%	48.6	9.97	37.8	9.53	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG365N2K-A5	365	0~3%	48.7	10.01	38.2	9.56	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG370N2K-A5	370	0~3%	48.8	10.05	38.6	9.59	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG375N2K-A5	375	0~3%	48.9	10.09	39.0	9.62	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG380N2K-A5	380	0~3%	49.0	10.13	39.4	9.65	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG385N2K-A5	385	0~3%	49.1	10.17	39.8	9.68	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG390N2K-A5	390	0~3%	49.2	10.21	40.2	9.71	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG395N2K-A5	395	0~3%	49.3	10.25	40.6	9.74	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG400N2K-A5	400	0~3%	49.4	10.29	41.0	9.76	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG405N2K-A5	405	0~3%	49.5	10.33	41.4	9.79	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG410N2K-A5	410	0~3%	49.6	10.37	41.8	9.82	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7
	LG415N2K-A5	415	0~3%	49.7	10.41	42.2	9.84	20	*1000/1500	MC4/JM601A/05-8	2024	1024	40	21.7

A2. Ficha técnica de la Batería Estacionaria BAE 48V 4420 Ah

Technical Specification for Vented Lead-Acid Batteries (VLA)

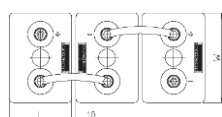
1. Application

BAE *Secura PVS solar* batteries need only low maintenance and are used to store electric energy in medium and large solar photovoltaic installations. Due to the robust tubular plate design BAE PVS batteries are excellent suited for highest requirements regarding cycling ability and long life- time.

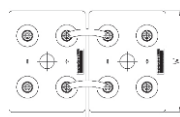
2. Technical data (Reference temperature 20 °C)



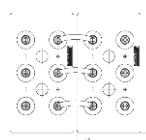
Type	C _{1h}	C _{10h}	C _{20h}	C _{72h}	C _{100h}	C _{120h}	C _{240h}	R _i 1)	I _k	Length	Width	Height	Weight	Weight
U _e	Ah	Ah	Ah	Ah	1.80	1.80	1.80		kA	mm	mm	mm	kg	kg
2 PVS 140	63	111	127	141	143	144	148	1.52	1.37	105	208	420	9.1	14.5
3 PVS 210	95	167	191	211	215	217	222	1.06	1.96	105	208	420	11.2	16.4
4 PVS 280	127	223	254	282	287	289	295	0.84	2.46	105	208	420	12.8	18.0
5 PVS 350	159	279	318	352	359	361	369	0.70	2.98	126	208	420	15.3	21.7
6 PVS 420	191	334	382	424	431	434	444	0.60	3.47	147	208	420	18.1	25.7
5 PVS 550	223	389	432	486	496	500	513	0.57	3.61	126	208	535	20.0	28.8
6 PVS 660	267	467	518	583	595	601	616	0.49	4.18	147	208	535	23.5	34.0
7 PVS 770	310	544	604	681	694	700	720	0.44	4.69	168	208	535	26.8	39.1
6 PVS 900	352	665	748	856	877	888	916	0.47	4.41	147	208	710	33.0	47.4
7 PVS 1050	415	777	872	993	1,020	1,033	1,065	0.36	5.66	215	193	710	42.1	61.5
8 PVS 1200	473	886	996	1,137	1,160	1,178	1,216	0.32	6.36	215	193	710	46.6	65.4
9 PVS 1350	522	992	1,116	1,274	1,300	1,320	1,365	0.33	6.20	215	235	710	51.4	75.4
10 PVS 1500	585	1,100	1,240	1,418	1,450	1,464	1,516	0.28	7.25	215	235	710	56.0	79.4
11 PVS 1650	635	1,210	1,362	1,555	1,590	1,608	1,665	0.28	7.36	215	277	710	61.0	89.6
12 PVS 1800	698	1,320	1,486	1,699	1,740	1,752	1,816	0.24	8.41	215	277	710	65.4	93.4
11 PVS 2090	790	1,470	1,636	1,836	1,870	1,884	1,941	0.24	8.38	215	277	855	72.7	105.9
12 PVS 2280	869	1,600	1,784	2,001	2,040	2,052	2,116	0.22	9.48	215	277	855	77.4	110.4
13 PVS 2470	978	1,740	1,938	2,174	2,210	2,232	2,292	0.16	13.03	215	400	815	90.8	137.8
14 PVS 2660	1,051	1,880	2,080	2,332	2,380	2,400	2,448	0.15	13.82	215	400	815	95.3	142.4
15 PVS 2850	1,123	2,010	2,220	2,498	2,550	2,568	2,640	0.14	14.43	215	400	815	100.2	146.9
16 PVS 3040	1,195	2,140	2,380	2,664	2,710	2,736	2,808	0.13	15.20	215	400	815	105.4	151.6
17 PVS 3230	1,280	2,290	2,540	2,858	2,910	2,940	3,000	0.12	16.91	215	490	815	117.7	175.1
18 PVS 3420	1,352	2,420	2,680	3,024	3,080	3,108	3,192	0.11	17.55	215	490	815	121.9	179.1
19 PVS 3610	1,425	2,560	2,840	3,189	3,250	3,276	3,360	0.11	18.36	215	490	815	126.8	183.6
20 PVS 3800	1,496	2,690	2,980	3,355	3,420	3,444	3,528	0.11	18.92	215	490	815	132.0	188.3
22 PVS 4180	1,635	2,950	3,280	3,686	3,750	3,780	3,888	0.10	19.92	215	580	815	145.4	213.9
24 PVS 4560	1,777	3,220	3,560	4,010	4,090	4,128	4,224	0.09	21.26	215	580	815	155.2	223.0
26 PVS 4940	1,917	3,480	3,860	4,341	4,420	4,464	4,584	0.09	22.49	215	580	815	165.0	232.0



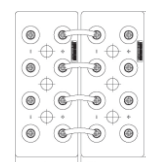
2 PVS 140 to 6 PVS 900



7 PVS 1050 to 12 PVS 2280



13 PVS 2470 to 16 PVS 3040



17 PVS 3230 to 26 PVS 4940

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm² or insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm².

3. Design

Positive electrode	tubular-plate with a woven polyester gauntlet and solid grids in a corrosion-resistant PbSbSnSe-low antimony alloy
Negative electrode	grid-plate in a low antimony alloy with long-life expander material
Separation	microporous separator
Electrolyte	sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l at 20 °C (68 °F)
Container	high impact, transparent SAN (Styrol-Acrylic-Nitrile), UL-94 rating: HB
Lid	high impact SAN in dark grey colour (colour may vary slightly from given image), UL-94 rating: HB
Plugs	labyrinth plugs for arresting aerosols, optional ceramic plugs or ceramic funnel plugs according to DIN 40740 Pole-
bushing	100 % gas- and electrolyte-tight, sliding, plastic-coated "Panzerpol" Kind of
protection	IP 25 regarding EN 60529, touch protected according to VBG 4

4. Installation

BAE *Secura PVS solar* batteries are designed for indoor applications. For outdoor applications please contact BAE.

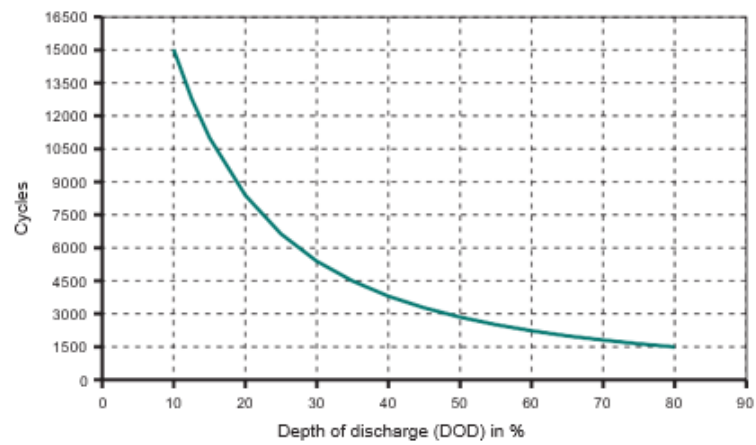
5. Maintenance

Every 6 months	check battery voltage, pilot cell voltages, temperatures
Every 12 months	check connections, record battery voltage, cell voltages and temperatures
Every 3 years	average water-refilling interval (depending on utilization and ambient temperature)

6. Operational data

Depth of discharge (DOD)	max. 80 % ($U_e = 1.91$ V/cell for discharge times >10 h; 1.74 V/cell for 1 h) deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided
Initial charge current bulk phase)	unlimited, the minimal charge current has to be 5 A/100 Ah C ₁₀ (I or
Charge voltage at cyclic operation voltage/non cyclic voltage 2.23 V/cell	restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell, operating instruction is to be observed Float
Adjustment of charge voltage	no adjustment necessary if battery temperature is between 10 °C and 30 °C (50 °F and 86 °F) in the monthly average, otherwise $DU/DT = -0.003$ V/cell per K within a period of 1 up to 4 weeks
Recharge to 100 % IEC 61427 cycles	3,150 (A+B) at 40 °C (104 °F)
Battery temperature	-20 °C to 55 °C (-4 °F to 131 °F), recommended temperature range 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F)
Self-discharge	approx. 3 % per month at 20 °C (68 °F)

7. Number of cycles as function of Depth of discharge



A3. Ficha técnica del Inversor Sunny Boy 5000-US

Conexión del generador fotovoltaico

Tensión máxima del punto de máxima potencia (MPP)	250 V ... 480 V
Tensión de servicio nominal	310 V
Rango de la tensión de funcionamiento de entrada	250 V ... 600 V
Máxima potencia de entrada del generador	6 250 W
Potencia máxima de CC	5 300 W
Tensión fotovoltaica de arranque	300 V
Corriente máxima de entrada de CC	50 A
Máxima corriente de cortocircuito en la entrada	36 A
Máxima corriente de retorno desde la red hacia el generador fotovoltaico	50 A CA
Factor de distorsión de CC	< 10 %

Conexión a red

Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 208 V	183 V ... 229 V
Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 240 V	211 V ... 264 V
Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 277 V	244 V ... 305 V
Rango de frecuencia de funcionamiento de CA	59.3 Hz ... 60.5 Hz
Frecuencia de CA, valor nominal	60 Hz
Máxima potencia continua de salida de CA	5 000 W
THD actual	< 4 %
Máxima corriente constante de salida de CA a 208 V	24 A
Máxima corriente constante de salida de CA a 240 V	20.8 A
Máxima corriente constante de salida de CA a 277 V	18 A
Máxima corriente de defecto de salida	57.6 A
Protección máxima contra sobrecorriente de salida	50 A
Sincronización de la corriente de arranque	9.23 A
Exactitud de los límites de desconexión	±2 %
Exactitud del tiempo de intervención	±0.1 %
Consumo de energía por la noche	0.1 W

A4. Ficha técnica del inversor bidireccional Sunny Island 6048-US

Output values		SI 6048-US-10
Nominal AC voltage (adjustable)	$U_{AC, nom}$	120 V (105 V ... 132 V)
Nominal Frequency	f_{nom}	60 Hz (55 ... 65 Hz)
Continuous AC output at 77°F (25°C)	P_{nom}	5 750 W
AC output power for 30 min at 77°F (25°C)	$P_{30 min}$	7 000 W
AC output power for 1 min at 77°F (25°C)	$P_{1 min}$	8 400 W
AC output power for 3 seconds at 77°F (25°C)	$P_{3 sec}$	11 000 W
Continuous AC output at 104°F (40°C)	P_{nom}	4 700 W
AC power at 104°F (40°C) for 3 hours	P_{3h}	5 000 W
Continuous AC output at 122°F (50°C)	P_{nom}	3 500 W
Continuous AC output at 140°F (60°C)	P_{nom}	2 200 W
Nominal AC current	$I_{AC, nom}$	48.0 A
Maximum current (peak value) for 60 ms	$I_{AC max}$	180 A
Total harmonic factor of output voltage	K_{VAC}	< 3%
Power factor $\cos\phi$		-1 ... +1

Input values		
Input voltage (adjustable)	$U_{AC, ext}$	120 V (80 V ... 150 V)
Input frequency (adjustable)	f_{ext}	60 Hz (54 Hz ... 66 Hz)
Maximum AC input current (adjustable)	$I_{AC, ext}$	56 A (0 A ... 56 A)
Maximum input power	$P_{AC, ext}$	6.7 kW

Battery Data		
Battery voltage (range)	$U_{Bat, nom}$	48 V (41 V ... 63 V)
Maximum battery charging current	$I_{Bat, max}$	140 A
Continuous charging current	$I_{Bat, nom}$	110 A
Battery capacity	C_{Bat}	100 Ah ... 10 000 Ah
Charge Control		IUoU procedure with automatic full and equalization charge
Battery type		VRLA / FLA / NiCd

A5. Ficha técnica de las protecciones

EQUIPO DE PROTECCION DE GRUPO DE PANELES - NIVEL 1

Equipo diseñado para proteger eléctricamente los paneles fotovoltaicos de posibles sobretensiones y sobreintensidades. Viene provisto de un Interruptor de Corte en Carga, que permite cortar la línea del grupo de paneles y así realizar tareas correctivas o preventivas endicha zona.

El Equipo viene con fusibles (<1000 Vdc), que protegen los 2 polos (+ y -) de posibles sobreintensidades. Todos los equipos de Nivel 1, vienen con protectores de sobretensión, pues es frecuente que en zonas donde se ubican las instalaciones



A continuación se muestran las diversas posibilidades que CAHORS ESPAÑOLA S.A. puede suministrar para proyectos de instalaciones fotovoltaicas, encontraremos una gran variedad de dimensiones y características técnicas en función de los requerimientos de la instalación.

Envoltentes con IP43 hasta IP66, de gran variedad de dimensiones y características técnicas en función de la tipología de instalación.

Referencia	Designación	Dimensiones*	nº strings	In fus	In Int	Prot S.T.
0471101-001	ARF1-54-40A-3S-CIL10-ST	400x500x200	3	10 A	40 A	SI
0471101-002	ARF1-54-40A-4S-CIL10-ST	400x500x200	4	10 A	40 A	SI
0471101-003	ARF1-65-40A-5S-CIL10-ST	500x600x230	5	10 A	40 A	SI
0471101-004	ARF1-65-125A-6S-CIL10-ST	500x600x230	6	10 A	125 A	SI
0471101-005	ARF1-65-125A-7S-CIL10-ST	500x600x230	7	10 A	125 A	SI
0471101-006	ARF1-65-125A-8S-CIL10-ST	500x600x230	8	10 A	125 A	SI
0471101-007	ARF1-65-125A-9S-CIL10-ST	500x600x230	9	10 A	125 A	SI
0471101-008	ARF1-65-125A-10S-CIL10-ST	500x600x230	10	10 A	125 A	SI
0471101-009	ARF1-65-125A-11S-CIL10-ST	500x600x230	11	10 A	125 A	SI
0471101-010	ARF1-86-125A-12S-CIL10-ST	600x800x300	12	10 A	125 A	SI
0471101-011	ARF1-86-125A-13S-CIL10-ST	600x800x300	13	10 A	125 A	SI
0471101-012	ARF1-86-125A-14S-CIL10-ST	600x800x300	14	10 A	125 A	SI
0471101-013	ARF1-86-125A-15S-CIL10-ST	600x800x300	15	10 A	125 A	SI



- *Envolvente ARINTER*
- *Grado de Protección IP66*
- *s/n UNE 20324 / IEC 60529*
- *IK09 (10 Julios) s/n EN 50102 / IEC 62262*

- *Interruptor de Seccionamiento para 900Vdc*

- *Protector Sobretensiones con descargador.*

EQUIPO DE PROTECCION GRUPO INVERSOR - NIVEL 2

Equipo diseñado para proteger eléctricamente los grupos inversores de posibles sobretensiones y sobreintensidades. Provisto de un Interruptor de Corte en Carga, para poder cortar toda una instalación o una zona determinada y así realizar tareas de mantenimiento correctivas o preventivas.

El Equipo viene provisto de fusibles (<1000 Vdc) que protegen los 2 polos (+ y -) de posibles sobreintensidades. estos fusibles



A continuación se muestran las diversas posibilidades de producto que CAHORS ESPAÑOLA S.A puede suministrar para los proyectos de instalaciones fotovoltaicas. Envoltentes con IP44 hasta IP66, de gran variedad de dimensiones y características técnicas en función de la tipología de instalación.

Referencia	Designación	Dimensiones*	nº strings	In fus	In Int	Prot S.T.
0471102-001	ARF2-65-125A-3S-CIL40-ST	500x600x300	3	40A	125A	SI
0471102-002	ARF2-65-200A-4S-CIL40-ST	500x600x300	4	40A	200A	SI
0471102-003	ARF2-65-200A-5S-CIL40-ST	500x600x300	5	40A	200A	SI
0471102-004	ARF2-86-315A-6S-CIL40-ST	600x800x300	6	40A	315A	SI
0471102-005	ARF2-86-315A-7S-CIL40-ST	600x800x300	7	40A	315A	SI
0471102-006	ARF2-86-315A-8S-CIL40-ST	800x1000x300	8	40A	315A	SI
0471102-007	ARF2-65-125A-3S-CIL40	500x600x300	3	40A	125A	NO
0471102-008	ARF2-65-200A-4S-CIL40	500x600x300	4	40A	200A	NO
0471102-009	ARF2-65-200A-5S-CIL40	500x600x300	5	40A	200A	NO
0471102-010	ARF2-86-315A-6S-CIL40	600x800x300	6	40A	315A	NO
0471102-011	ARF2-86-315A-7S-CIL40	600x800x300	7	40A	315A	NO
0471102-012	ARF2-86-315A-8S-CIL40	800x1000x300	8	40A	315A	NO



Envolvente ARINTER

•Grado de Protección
IP66 s/n UNE 20324 /
IEC 60529

•IK09 (10 Julios) s/n EN 50102
/ IEC 62262

•Interruptor de
Seccionamiento para
900Vdc

A6. Ficha técnica del sensor VL53L1X

A new generation, long distance ranging Time-of-Flight sensor
based on ST's FlightSense™ technology



Features

- Fully integrated miniature module
 - Size: 4.9x2.5x1.56 mm
 - Emitter: 940 nm invisible laser (Class1)
 - SPAD (single photon avalanche diode) receiving array with integrated lens
 - Low-power microcontroller running advanced digital firmware
- Pin-to-pin compatible with the VL53L0X FlightSense™ ranging sensor
- Fast and accurate long distance ranging
 - Up to 400 cm distance measurement
 - Up to 50 Hz ranging frequency
- Typical full field-of-view (FoV): 27 °
- Programmable region-of-interest (ROI) size on the receiving array, allowing the sensor FoV to be reduced
- Programmable ROI position on the receiving array, providing multizone operation control from the host
- Easy integration
 - Single reflowable component
 - Can be hidden behind many cover window materials
 - Software driver and code examples for turnkey ranging
 - Single power supply (2v8)
 - I²C interface (up to 1 MHz)
 - Shutdown and interrupt pins

Applications

- User detection (Autonomous low-power mode) to power on/off and lock/unlock devices like personal computers/laptops and the IoT
- Service robots and vacuum cleaners (long distance and fast obstacle detection)
- Drones (landing assistance, hovering, ceiling detection)
- Smart shelves and vending machines (goods inventory monitoring)
- Sanitary (robust user detection whatever the target reflectance)
- Smart building and smart lighting (people detection, gesture control)
- 1 D gesture recognition
- Laser assisted autofocus which enhances the camera autofocus system speed and robustness, especially in difficult scenes (low light and low contrast) and video focus tracking assistance

Description

The VL53L1X is a state-of-the-art, Time-of-Flight (ToF), laser-ranging sensor, enhancing the ST FlightSense™ product family. It is the fastest miniature ToF sensor on the market with accurate ranging up to 4 m and fast ranging frequency up to 50 Hz

Housed in a miniature and reflowable package, it integrates a SPAD receiving array, a 940 nm invisible Class1 laser emitter, physical infrared filters, and optics to achieve the best ranging performance in various ambient lighting conditions with a range of cover window options.

Unlike conventional IR sensors, the VL53L1X uses ST's latest generation ToF technology which allows absolute distance measurement whatever the target color and reflectance.

It is also possible to program the size of the ROI on the receiving array, allowing the sensor FoV to be reduced.

A7. Ficha técnica lámpara LED

Luminaria LED Aventino 60W MEAN WELL

Ficha técnica

Potencia:	60 W
Factor de Potencia:	0.95
Tª Ambiente Trabajo:	-20°C ~ +45°C
Luminosidad:	7200 lm
Fuente Lumínica:	LUMILEDS 3030 2D
Número de LEDs:	63
Dimensiones:	Ø485x696 mm
Material:	Aluminio / Cristal
Difusor:	Transparente
Incluye:	Driver Mean Well ELG-75-C-A
Clase Energética:	A+
Garantía:	2 Años
Certificados:	CE & RoHS
Tensión:	220-240V AC
Ángulo de Apertura:	150°x70°
Vida Útil:	50.000 Horas
Protección IP:	IP65
Rendimiento LED:	120 lm/W
Intensidad de Corriente:	350 mA
Protección IK:	IK08
Multitensión:	100-240V AC
Frecuencia:	50-60 Hz
Eficiencia Luminaria:	106 lm/W
Clase Aislamiento Eléctrico:	I

A8. Ficha técnica de la bomba seleccionada

Bomba de achique Sterwins 1000 DW-3

Ficha Técnica

Tipo de bomba	Achique
Tipo de agua	Sucias
Potencia	1000 W
Diámetro máximo de las partículas	5 mm
Caudal máximo	18.000 l/h
Temperatura del agua	40°C
Diámetro de racor	25 mm
Diámetro de racor impulsión	25 mm
Material	Aluminio
Peso	7,7 Kg
Medidas	18 x 22 x 37 cm(ancho x fondo x alto)